

**VŠB-Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra energetiky**

**Využití tepla důlních vod**

**Heat Utilization of Mine Water**

**Student:**

**Vlastimil Vaněk**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**doc.Ing.Mojmír Vrtek,Ph.D.**

**Ostrava 2010**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Vlastimil Vaněk**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3907R004 Provoz a řízení v energetice  
Téma: **Využití tepla důlních vod**  
**Heat Utilization of Mine Water**

Zásady pro vypracování:

Zpracujte studii využití tepla z čerpaných důlních vod. Při zpracování vycházejte z podmínek čerpací stanice v lokalitě dolu Jeremenko.

Práce bude obsahovat:

1. Možnosti využití nízkopotenciálního tepla z technologických procesů.
2. Analýzu současného stavu.
3. Variantní řešení a stanovení maximálních a užitečných tepelných zisků.
4. Výběr optimální varianty - návrh tepelného čerpadla a jeho zapojení do otopného systému.
5. Odhad přínosu nasazení TČ z ekonomického a environmentálního hlediska.
6. Grafickou část - Schéma zapojení TČ do systému

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J., VRTEK M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998 . 102 s. ISBN 80–7078–445–8  
DVOŘÁK Z., KLAZAR L., PETRÁK J. *Tepelná čerpadla*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 339 s.  
TURNER W. C. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 40 s. ISBN: 0–13–728098–X.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



  
prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

v Ostravě dne 20.5.2010



Vlastimil Vaněk

### **Prohlašuji, že**

jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).

souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.



v Ostravě dne 20.5.2010

Vlastimil Vaněk

Jméno a příjmení autora práce:

Vlastimil Vaněk

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Tršice 27, Tršice 78 357

## **Anotace bakalářské práce**

Vaněk, V. Využití tepla důlních vod: bakalářská práce. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2010,

Bakalářská práce se zabývá využitím tepla důlní vody pomocí tepelného čerpadla. V úvodní části jsou uvedeny konkrétní instalace tepelných čerpadel v různých průmyslových oblastech. Následující části již obsahují postupné řešení této problematiky. Analýzy současného stavu, tedy průběh naměřených a vypočtených veličin, a jejich grafické znázornění. Stanovení celkové tepelného a topného potenciálu v závislosti na teplotě ochlazení důlní vody. Určení maximálního a užitečného zisku pro zadanou tepelnou ztrátu objektu. Možné využití tepelného čerpadla v této lokalitě je zde také posouzeno z hlediska ekonomického a environmentálního.

## **Annotation of bachelor thesis**

Vaněk, V. Heat Utilization of Mine Water: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2010,

Bachelor thesis is dealing heat utilization of mine water by means of heat pump. The introduction part are brought out definite applications heat pumps in different industrial regions. The following parts are containing gradual solution this problem. The analysis current condition, then course of measuring and computing values, and their graphical construction. Defining of the total heat and heating potential depending on temperature cooling mine water. Defining maximum and payload profits for given heat loss building. Utilization heat pump in this place is here compared of view economic way and environmental way too.

## Obsah

1	Možnosti využití nízkopotenciálního tepla .....	9
1.1	Využití odpadního tepla z chladicího zařízení.....	9
1.2	Využití odpadního tepla ze zpracovatelského průmyslu .....	12
1.3	Využití geotermální energie.....	14
2	Analýza současného stavu .....	16
2.1	Všeobecný popis .....	16
2.2	Jednotlivé průběhy veličin .....	17
3	Variantní řešení a stanovení maximálních a užitečných zisků .....	22
3.1	Stanovení tepelného potenciálu .....	22
3.2	Stanovení topného potenciálu .....	24
3.3	Stanovení maximálních a užitečných tepelných zisků.....	25
4	Výběr optimální varianty- návrh TČ a jeho zapojení do otopného systému .....	29
4.1	Návrh tepelného čerpadla .....	29
5	Odhad přínosu nasazení TČ z ekonomického a environmentálního hlediska .....	33
5.1	Environmentální hledisko .....	33
5.2	Ekonomické hledisko.....	36
6	Závěr .....	41

## Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Schéma využívání odpadního tepla z chladicího zařízení .....	10
Obrázek 1.2 Schéma využití odpadního tepla ze zpracovatelského průmyslu .....	13
Obrázek 1.3 Schéma centralizovaného systému využívání energie důlních vod .....	15
Obrázek 4.1 Tepelné čerpadlo WATERKOTTE DS 6500 .....	29

## Seznam grafů

Graf 2.1 Průběhy teplot .....	18
Graf 2.2 Čerpání a stav hladiny .....	18
Graf 2.3 Detailní pohled na odstávku v srpnu 2007 .....	19
Graf 2.4 Detailní pohled na odstávky v lednu 2006 .....	19
Graf 2.5 Průběhy průtoků .....	20
Graf 2.6 Průběhy teplot v řece Ostravici .....	21
Graf 2.7 Průběh všech měřených veličin .....	21
Graf 3.1 Vliv ochlazované vody na vodu v řece .....	22
Graf 3.2 Detailní zobrazení ochlazení vody v řece .....	23
Graf 3.3 Nízkoteplotní potenciál v závislosti na změně teploty $t_2$ .....	24
Graf 3.4 Znázornění topného výkonu a topného faktoru na teplotě $t_2$ .....	25
Graf 3.5 Závislost topného výkonu na venkovní teplotě .....	26
Graf 3.6 Závislost venkovní teploty, topného a tepelného výkonu .....	27
Graf 3.7 Otopné období leden až duben 2006 .....	28
Graf 3.8 Otopné období říjen až prosinec 2006 .....	28
Graf 4.1 Závislost topného výkonu na teplotě topné vody .....	31
Graf 4.2 Závislost příkonu na teplotě topné vody .....	31
Graf 4.3 Topný výkon v závislosti na teplotě topné vody .....	32
Graf 5.1 Porovnání emisí .....	36

## Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Celkový tepelný potenciál .....	24
Tabulka 4.1 Přehled všech typů modelové řady DS 6500 .....	30
Tabulka 4.2 Topný výkon .....	30
Tabulka 4.3 Příkon kompresoru .....	31
Tabulka 4.4 Topný faktor .....	32
Tabulka 5.1 Emisní faktory pro systémovou elektřinu kg/ GJ .....	33
Tabulka 5.2 Emisní hodnoty .....	34
Tabulka 5.3 Emisní faktory .....	34
Tabulka 5.4 Emisní hodnoty .....	35
Tabulka 5.5 Čistá současná hodnota .....	39
Tabulka 5.6 Vnitřní výnosové procento .....	40

## Úvod

Ačkoliv se mé zaměstnání netýká tepelných čerpadel, ani dokonce jiných alternativních a obnovitelných zdrojů energie, já osobně se o tuto problematiku zajímám. Z tohoto důvodu jsem si jako téma na bakalářskou práci zvolil využití tepla důlní vody pomocí tepelného čerpadla.

V následujících řádcích nastíním stručný obsah mé bakalářské práce.

V první kapitole se zabývám možným využitím tepelných čerpadel v různých odvětví průmyslu. Jedná se především o chladírenský a zpracovatelský průmysl. K jednotlivým příkladům z těchto odvětví je vždy uveden popis funkce zařízení a také několik konkrétních realizací. V této části je pouze zmínka o využívání důlní vody, více v následujících kapitolách, a to v podkapitole, která obsahuje využití geotermální energie.

Následující část řeší analýzu současného stavu. Je zde využito naměřených hodnot teplot prodanou lokalitu, teplota a průtok vody v Ostravici a stav hladiny důlní vody, které se provádělo po určitou dobu. Všechny těchto veličin je použito k vytvoření ucelené databáze a také ke grafickému znázornění.

Kapitola 3 obsahuje stanovení celkového tepelného potenciálu důlní vody, který je závislý pouze na teplotě na kterou důlní vodu ve výparníku tepelného čerpadla ochladíme. Dále je zde uveden maximální a užitečný tepelný zisk. Tyto zisky jsou navrženy pro objekty v areálu dolu Jeremenko s celkovou tepelnou ztrátou 4 MW.

V další kapitole vybírám optimální variantu, tedy navrhuji konkrétní zařízení, které by pokrylo potřebný tepelný výkon. Z tohoto důvodu musím vybírat z produktů firem, které se zabývají průmyslovými tepelnými čerpadly, kde výkony těchto strojů jsou řádově ve stovkách kW.

V části 5 se zabývám environmentálním a ekonomickým pohledem na nasazení tepelného čerpadla v této lokalitě. Environmentální část je rozdělena na část ve které uvádím postup a výsledné zhodnocení vzniků emisí při výrobě systémové elektřiny. Druhá část obsahuje zhodnocení o množství emisí vyprodukovaných spálením zemního plynu, který je nejčastější způsob vytápění. Ekonomická část porovnává dva možné způsoby vytápění, a to zemním plynem a tepelným čerpadlem, a případné nahrazení zemního plynu tepelným čerpadlem.

Poslední část obsahuje schématické zapojení tepelných čerpadel v kaskádě do otopného systému.



# 1 Možnosti využití nízkopotenciálního tepla

## 1.1 Využití odpadního tepla z chladicího zařízení

V současné době je na území české republiky v provozu 161 zimních stadiónů, které byly vybudovány v období 60. až 80. let minulého století [8]. Během uplynulých let začala probíhat jejich částečná nebo úplná rekonstrukce. Většinou se tato rekonstrukce netýkala chlazení ledové plochy, ale chladicího zařízení. Některé doslova v havarijním stavu a to i s klasickým čpavkovým hospodářstvím, jež může v případě havárie napáchat škody na zdraví.

Požadavek na rekonstrukci zimních stadionů a následné provozování s co možná nejnižšími náklady mohou vést k využití energetického potenciálu, který se přímo z jejich technologie (principu) nabízí využít.

### Popis technologie

Chlazení ledových ploch u zimních stadiónů je v zajišťováno pomocí strojního kompresorového chlazení, jež pracuje na principu obráceného Rankinova tepelného cyklu [6]. Nejčastěji používanou pracovní látkou (chladičem) je čpavek  $\text{NH}_3$ , který se řadí k ekologicky nejšetrnějším chladičům. Pro lidský organismus je však jedovatý, při kontaktu s lidskou tkání hrozí riziko omrznutí a při koncentracích ve vzduchu větších než 15% je dokonce výbušný.

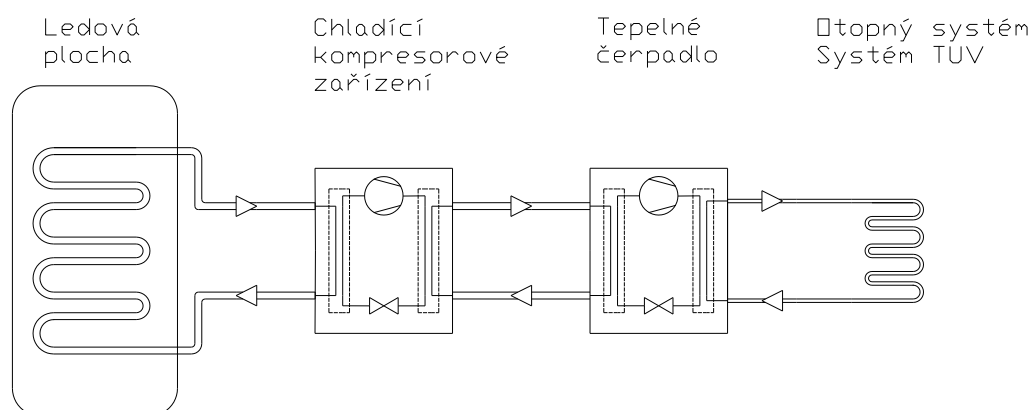
V zásadě se dnes uplatňují dvě koncepce strojního chlazení ledových ploch zimních stadiónů. První koncepcí je tzv. systém přímého chlazení, tento systém se dnes již používá minimálně a to jen u stávajících zařízení jejich životnost se blíží konci nebo u zařízení kde ledová plocha zůstala zachována. Nevýhodou je velkého množství chladiva-čpavku a především také možnost jeho úniku do prostor, kde se vyskytuje velké množství lidí. Výhodou je jednoduchost a s tím související i vyšší účinnost chladicího systému.

Druhou koncepcí je tzv. systém nepřímého chlazení, kdy chladivo, nejčastěji čpavek, je použito pouze v primárním okruhu vlastního kompresorového chlazení. Chlazení vlastní ledové plochy je pak zajištěno průtokem nemrznoucí kapaliny (roztokem ethylen-glykolu) v sekundárním okruhu. Množství chladiva-čpavku je v tomto případě zhruba poloviční než u systému přímého chlazení.

Zdrojem odpadního tepla u těchto systémů je především z chlazení válců pístových kompresorů a kondenzačního tepla chladiva. Získané teplo je přímo využito nebo pomocí

tepelného čerpadla převedeno na vyšší teplotní úroveň a poté využito dle potřeb provozovatele zimního stadiónu. Tepelné čerpadlo může také pracovat jako klimatizace hokejové haly. Mezi okruhem chladicího zařízení a okruhem tepelného čerpadla je zařazena akumulací nádrž z důvodu vyrovnaní výkonových výkyvů. Při nedostatečném odběru tepelným čerpadlem je v chladicím okruhu umístěn kondenzor přes který může chladivo zkondenzovat.

Teplo získané tepelným čerpadlem je pak možno využít při vlastním provozu ledové plochy např. při rozpouštění ledu ve sněžné jámě nebo při temperování podloží ledové plochy. Dále se nabízí využití tepla pro vytápění a přípravu TUV vlastního zimního stadiónu a přidružených objektů.



Obrázek 1.1 Schéma využívání odpadního tepla z chladicího zařízení

## Konkrétní realizace

### Zimní stadión ve Vrchlabí

Při rekonstrukci zimního stadiónu ve Vrchlabí byla nainstalována technologie získávání odpadního tepla z chladicího zařízení [8][12]. Pomocí systému nepřímého chlazení ledové plochy, kdy primárním chladicím okruhem  $\text{NH}_3$  je vychlazován 35% roztok etanolu, který chladí ledovou plochu. Druhým stupněm je vlastní tepelné čerpadlo pracující s chladivem R 134 A, které je s primárním chladicím okruhem spojeno okruhem technologické vody. Zdrojem nízkopotenciálního tepla pro tepelné čerpadlo druhého stupně je technologická voda o teplotě 25 °C.

Teplo získané z tohoto systému je využito pro následující účely:

- ohřev vody pro rolbu, při kterém je využito teplo z přehřátých čpavkových par primárního chladicího okruhu pomocí chladiče čpavek/voda, který je zařazen na

výstupu kompresoru, případně je využita topná voda 50/55 °C ohřátá kondenzačním teplem tepelného čerpadla

- rozpouštění ledové tříště z hrací plochy ve sněžné jámě, kde se využívá kondenzačního tepla čpavku primárního chladicího okruhu
- ohřev technologické vody v akumulární nádrži na teplotu cca 25 °C, která slouží jako zdroj tepla pro výparník tepelného čerpadla. K ohřevu této vody je opět využito teplo z kondenzátoru primárního chladicího okruhu a částečné i teplo z přehřátých par čpavku nevyužité k ohřevu vody pro rolu.
- klimatizaci hokejové haly a vysušování dřevěné konstrukce střechy z důvodu zamezení srážení vlhkosti. Podle režimu provozu je využito teplo z okruhu technologické vody nebo topné vody 50/55 °C ohřáté tepelným čerpadlem.
- vytápění šaten a předehřev TUV, při kterém je využito kondenzační teplo z tepelného čerpadla druhého stupně

Na základě provedených měření v celém systému byla zjištěna úspora tepelné energie cca 1500 GJ/rok, což při uvažování stále stoupajících cen za energii není zanedbatelná velikost. Současně také došlo k nárůstu elektrické energie zhruba o 75 MWh/rok oproti předchozímu stavu. Nárůst spotřeby elektrické energie je způsoben instalací tepelného čerpadla, konkrétně pohonem kompresoru, který je součástí tepelného čerpadla a oběhových čerpadel.

### **Zimní stadión v Ostravě-Porubě**

Kompresorovým chladícím zařízením je zajišťována dodávka chladu pro vytvoření a udržování ledové plochy na zimním stadiónu v Ostravě-Porubě [10]. Vypařování kapalného chladiva se provádí po redukci tlaku za teplot -10 až -15 °C ve výparníku, teplo potřebné pro odpaření chladiva je odebíráno z ledové plochy. Takto vzniklé páry chladiva jsou kompresorem stlačovány a ve vzduchovém kondenzátoru, který je zkrápěn vodou o teplotě 20 až 35 °C, zkondenzují. Teplota této kondenzace je tak nízká, že se již dále nevyužívá a odvádí se do ovzduší. Odpadní teplo z kondenzátoru se přivede do výparníku tepelného čerpadla, kde se při nižším tlaku chladicí kapalina odpaří. Takto vzniklé páry jsou stlačeny a v kondenzátoru kondenzují při teplotě cca 55 až 65 °C.

Takto získané teplo využito pro tyto účely:

- vytápění objektu zimního stadiónu. Součástí vytápěných prostor objektu je tiskové středisko, banka, několik obchodů, 17 šaten pro hokejové týmy, společenská místnost, klubovny, sauny, posilovny.
- příprava teplé užitkové vody.
- technologické účely (ohřev vody pro rolbu)

Výstup tepelného čerpadla je přiveden do akumulární nádrže o objemu 10 000 litrů a je zapojen tak, že dochází k cirkulaci média přes kondenzátor tepelného čerpadla a akumulární nádrže. Potrubí vedoucí z akumulární nádrže je přivedené k rozdělovači ve kterém se rozdělí otopné médium podle potřeby využití do jednotlivých větví. Tyto větve tvoří uzavřený okruh, kde cirkulaci zajišťují oběhová čerpadla.

Řídící systém zpracovává hodnoty teplot v akumulární nádrži a při poklesu teploty média pod nastavené automaticky zapíná tepelné čerpadlo. V případě kdy teplota v akumulární nádobě překročí nastavenou hodnotu, tak tepelné čerpadlo vypíná. Základní podmínkou pro nastartování činnosti tepelného čerpadla je chod chladicího kompresoru.

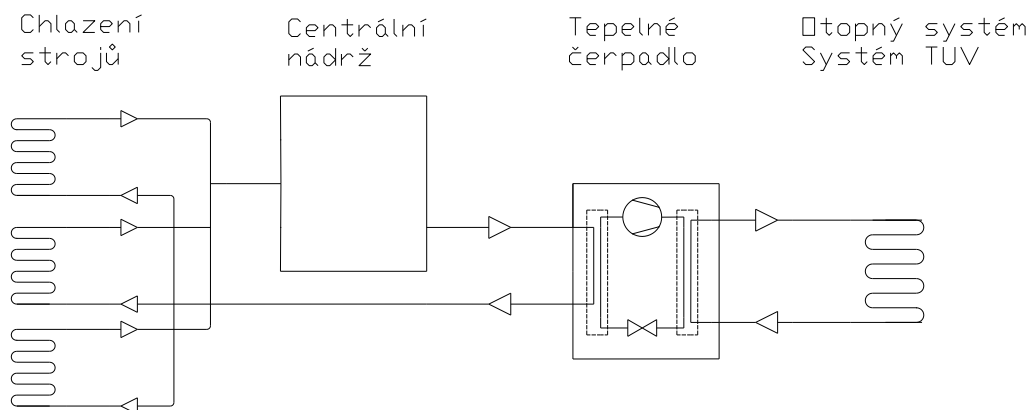
Podobných instalací, kde se také využívá odpadní teplo z chlazení ledové plochy, a stojí za připomenutí jsou např. TIPSPORT aréna v Liberci, SAZKA Aréna v Praze, Zimní stadión v Táboře, Třebíči, Frýdlantu, Mostě a v Novém Jičíně.

A připravovaný projekt v Chebu, kde teplo získané z chladicího zařízení ledního stadiónu má vytápět a ohřívat vodu v nedalekém bazénu.

## **1.2 Využití odpadního tepla ze zpracovatelského průmyslu**

### **Popis technologie**

V odvětvích zpracovatelského průmyslu kde se k výrobě různých výrobků používají takové stroje jako jsou hydraulické lis, licí stroje, kovací stroje a jiné vzniká při produkci odpadní teplo [15]. Teplo je v místě vzniku nepotřebné a dokonce zhoršuje kvalitu výroby. Využití spočívá v tom, že se teplo z těchto strojů odvede do centrální nádrže. Odtud je přivedeno do tepelného čerpadla, kde se ochladí a dále se vrací zpět jako chladicí kapalina ke strojům. Tepelná energie získaná tepelným čerpadlem je rozdělovači rozvedena do otopného systému a do systému teplé užitkové vody.



**Obrázek 1.2 Schéma využití odpadního tepla ze zpracovatelského průmyslu**

## Konkrétní realizace

### PLAST Brno

Ve společnosti PLAST Brno se vyrábí plastová potrubí, různé tvarovky a jiné výrobky z plastu. K produkci se používají vstřikovací hydraulické lisy [15]. Při tomto procesu vzniká teplo jak z chlazení oleje tak i samotné formy. Toto teplo se odvádí do centrální jímky, která má objem 8000 litrů. Odtud je voda o teplotě 15 °C dopravována do tepelného čerpadla a v něm je ochlazována na teplotu 9 °C. Výstup z tepelného čerpadla je přiveden do centrální kotelny a zde je zapojen do systému vytápění a systému teplé užitkové vody. Teplo získané při výrobě plně pokryje požadavky na vytápění i na ohřev teplé užitkové vody.

### Plastik HT Horšovský Týn

Téměř stejného využití tepelných čerpadel je použito k vytápění skladovací haly firmy Plastik HT v Horšovském Týně [16]. Ta se zabývá výrobou plastových dílů televizorů. Zdrojem tepla je chladicí voda vstřikovacích lisů o teplotě 20 °C. V letním období jsou tepelná čerpadla schopna pracovat i jako chlazení, což zlepší parametry chladicí vody a výroba dílů je efektivnější. Vytápění haly o celkové ploše 3200 m<sup>2</sup> obstarávají dvě tepelná čerpadla o celkovém výkonu 85 kW, podlahové vytápění je uloženo pod 15 centimetrovou vrstvou betonu. Topný faktor dosahuje hodnoty 4,5 až 7.

### Kovolit a.s. Brno Modřice

Společnost Kovolit a.s. vyrábí odlitky a výkovky z mědi, bronzu, mosazi a slitin hliníku [15]. K výrobě se používají lící a kovací stroje. Teplo z těchto strojů musí být odváděno a

není dál zužitkováváno. Nabízí se řešení jak tohle odpadní teplo využít pomocí tepelných čerpadel. Z akumulární nádrže, do které je chladicí voda svedena, je přes třicestný ventil napojen vstup tepelného čerpadla. Teplo získané tepelným čerpadlem je možné dodávat jak do výměníku vody nebo do vzduchových suchých chladičů, tak může být rozdělen do technologií dle potřeby. Suché vzduchové chladiče jsou umístěny na střeše budovy. Topný výkon celé technologie je 400 až 660 kW. Chladicí výkon je pak 350 až 540 kW.

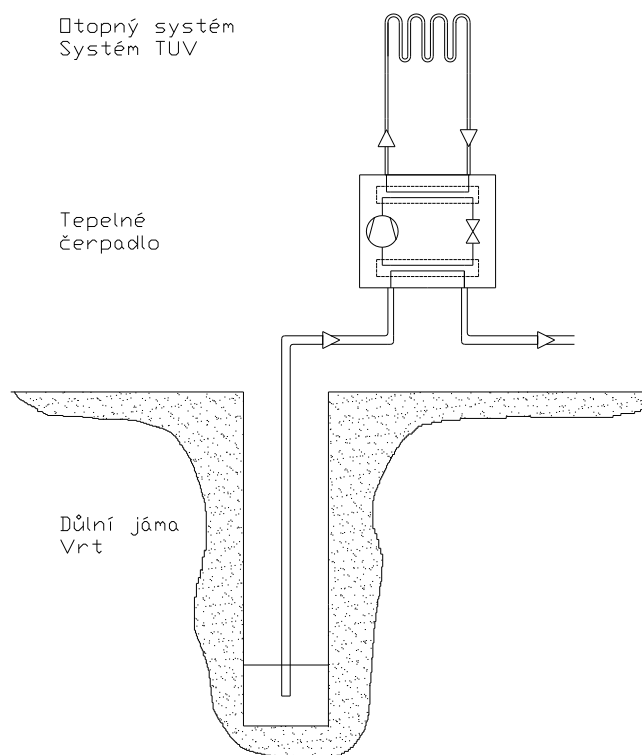
### **1.3 Využití geotermální energie**

#### **Popis technologie**

Využití geotermálního tepla se provádí z vrtů nebo bývalých důlních děl. Realizace je provedena, tak že ponorné čerpadlo čerpá geotermální vodu na povrch. Tady předá své teplo otopnému systému popřípadě systému teplé užitkové vody. Převod mezi médii zajišťuje tepelné čerpadlo. Voda, která projde přes výměník tepelného čerpadla je zapojena do technologického procesu nebo vypouštěna do přírody. Chemické složení vody způsobuje zanášení dopravního potrubí a také výměníku. Existují dva způsoby realizace při využívání takto agresivní vody.

Centralizovaný systém znamená, že důlní voda odevzdá své teplo ve výměníku a ten je již součástí tepelného čerpadla. Největší výhodou tohoto systému je vyšší teplota dodaná pracovnímu médium na primární straně. Nevýhodou je zanášení výměníku a tedy možnost rozebíratelnosti při jeho čištění od nánosů.

Naproti tomu decentralizovaný systém využívá okruhu vloženého mezi důlní vodu a pracovní médium tepelného čerpadla. Okruh s nemrznoucí směsí odebírá teplo důlní vodě a to předává pracovnímu médium. V tomto systému je nutný rozebíratelný výměník z důvodu čištění, ale už není potřeba zasahovat do chladicího oběhu. Odsátí a zpětné natlakování média. Nevýhoda je nižší teplota média na primární straně. K odstranění problému s agresivní vodou se před zařízení instaluje chemická úprava vody.



Obrázek 1.3 Schéma centralizovaného systému využívání energie důlních vod

## Konkrétní realizace

### Léčebný ústav Čilistov

Z vrtu o hloubce 1500 m je čerpána geotermální voda o teplotě 53 °C s maximálním průtokem 10 l/s [15]. Poté je pomocí oběhových čerpadel vedena speciálním potrubím v zemi do 2 kilometrů vzdálené kotelny. V kotelně je umístěn systém deskových výměníků a také zařízení na úpravu geotermální vody. Zařízení na úpravu geotermální vody je z důvodu životnosti systému a nemá žádný vliv na kvalitu této vody. Využití geotermální ve strojovně má hned několik fází. Pomocí systému deskových výměníků je zajištěn ohřev teplé vody. Dále je napojena na přímý ohřev vratné topné vody a pak na vstup tepelných čerpadel. Výkon těchto tepelných čerpadel 2,1 MW. Ve chvíli kdy má teplá užitková voda dostatečnou teplotu je řídicím systémem provedeno přepojení geotermální vody v topném okruhu. Voda ochlazená tepelnými čerpadly na 10 °C je přivedena do směšovacího okruhu, kde míchá s horkou geotermální vodou na teplotu 38 °C. Voda o této teplotě se využívá k léčebným účelům. Energetická ztráta lázeňského objektu je 2,2 MW. Topnou soustavu tvoří 2350 kusů otopných těles a 730 kusů otopných žebříků.

### **Termo Děčín**

V 90tých letech minulého století vznikl unikátní projekt využití geotermální energie [14]. Pod městem Děčín leží rozsáhlé podzemní jezero, které slouží jak zdroj tepla tak i jako zásoba pitné vody pro část města. Z tohoto podzemního jezera, z hloubky 550 m, se čerpá voda o teplotě

30 °C. Vydatnost vrtu je 54 l/s. Tato voda slouží jako zdroj nízkopotenciální energie pro tepelná čerpadla o výkonu 2 x 3,28 MWt. Takto získané teplo slouží k předeřevu doplňovací vody z potrubního topení na teplotu 72 °C. Elektrická energie potřebná pro provoz tepelných čerpadel je plně pokryta kogeneračními motory spalující uhlí. Voda ochlazená v tepelných čerpadlech, na teplotu 10 °C, je po úpravě dodána do městské vodovodní sítě jako pitná voda v objemu asi 1 milion m<sup>3</sup>/rok. Odpadní teplo z monogenerátorů také slouží k ohřevu doplňovací vody, a to na teplotu 90 °C. Požadovaná teplota vody v distribuční síti je 110 °C, to zajišťují plynové kotle.

### **Diamo s.p.**

V lokalitě dolu Jeremenko, v Ostravě-Vítkovicích, probíhá čerpání důlní vody z hloubky cca 400 m o teplotě 25 až 26 °C. Hodnota průtoku čerpané vody je 165 l/s. Čerpání této vody je nutnost, neboť přerušení popřípadě zastavení této činnosti, by hrozilo zatopení činných dolů v okolí [7]. Potrubí kterým se voda čerpá ústí do řeky Ostravice. V tomto potrubí je odbočka, která přivádí vodu k výměníku tepelného čerpadla. Je zde tedy využit již zmiňovaný centralizovaný systém. Voda ochlazená v tepelném čerpadle je také vypouštěna do Ostravice. Množství vypouštěné vody do řeky Ostravice je podmíněné množstvím vody v řece samotné. Při nízkém průtoku vody v řece a smícháním vody vypouštěné tepelným čerpadlem, teplota této vody je oproti teplotě v řece stále vyšší, je ohrožena kvalita vody, jak do chemického složení tak i tím, že vzroste teplota vody v řece, což má nepříznivý vliv na život v řece.

## **2 Analýza současného stavu**

### **2.1 Všeobecný popis**

Po dobu dvou let byla prováděna měření venkovní teploty, teploty a množství vody protékající v řece Ostravici, množství důlní vody vypouštěné do řeky respektive úroveň hladiny důlní vody a časové údaje o čerpání důlních vod, odstávkách a provozu jednoho



nebo obou čerpadel [7]. Tato měření byla prováděna nepřetržitě od 1.1.2006 do 31.12.2007 a to v hodinových intervalech, místo konání všech měření bylo v lokalitě dolu Jeremenko a jeho okolí v areálu státního podniku Diamo. Z naměřených hodnot se dopočítaly další důležité veličiny a to, teplota vody, která vznikla smíšením důlní a říční vody a z toho pak důsledné oteplení vody v Ostravici. Tyto hodnoty jsou analogické se současnými.

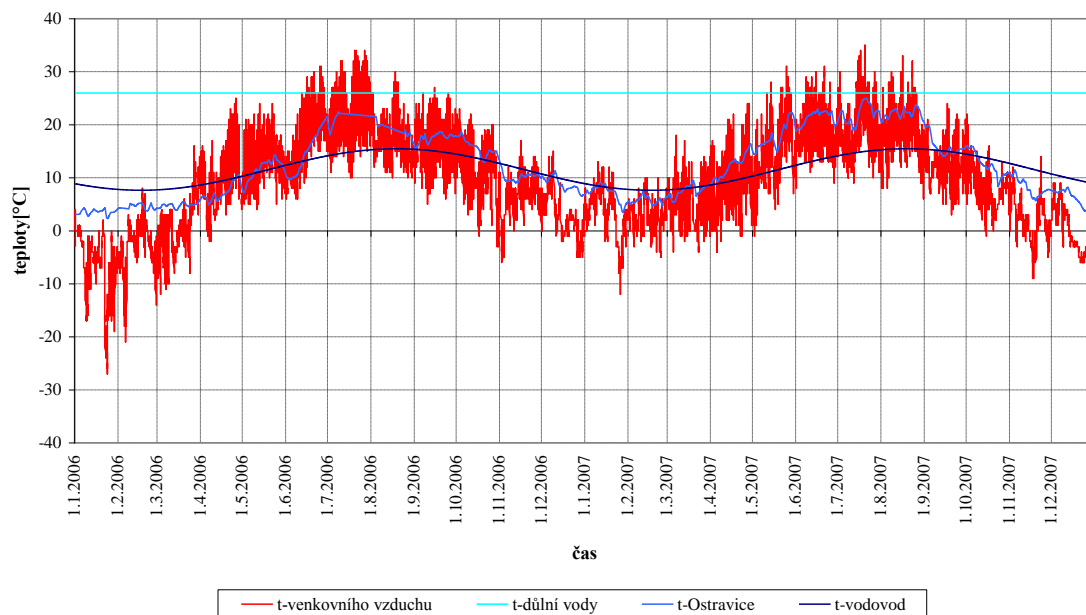
Důvodem ke vzniku této databáze bylo vytvořit si ucelený pohled na vzájemně propojené měřené a vypočtené veličiny. Tento pohled je možný pouze při dlouhodobém sběru dat, který nám umožní vyhodnotit stav systému v kritických situacích. Jako jsou nucené odstávky čerpadel, extrémní klimatické podmínky apod. A podle chování celého systému v těchto kritických situacích navrhnout nejvíce optimální řešení náhrady tepelného zdroje.

## **2.2 Jednotlivé průběhy veličin**

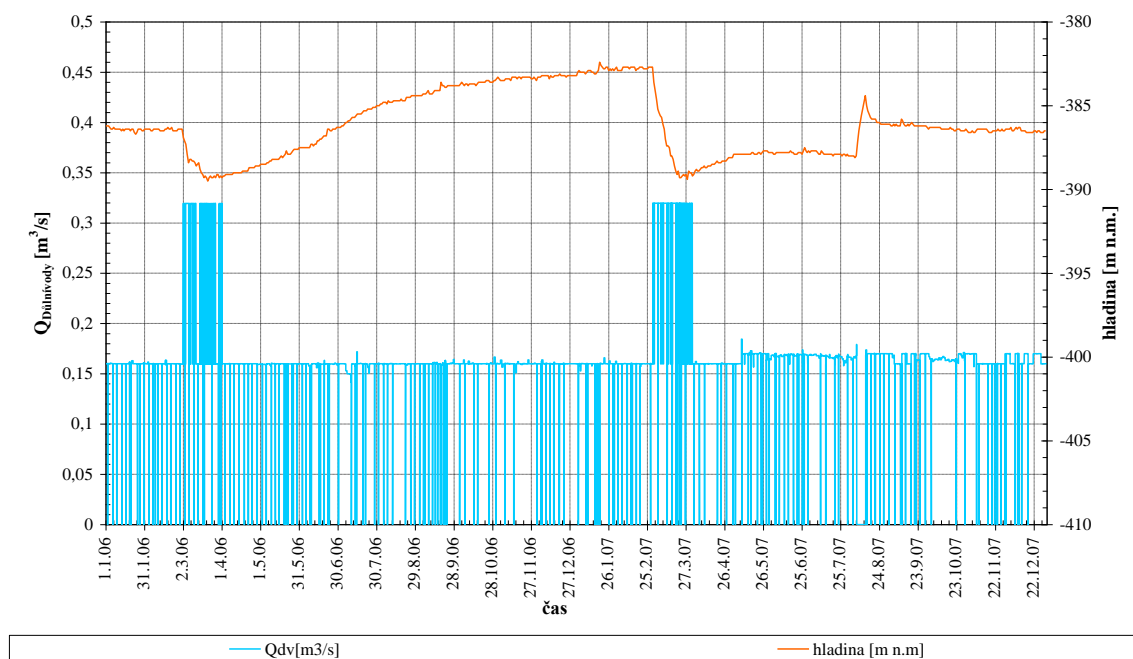
Průběh teplot venkovního vzduchu, teploty vod v řece Ostravici, vod ve vodovodním řádu a důlní vody je znázorněn v grafu 2.1. Střídání teplot v různých ročních obdobích má vliv jak na teplotu v řece tak i na teplotu vody v řádu. Pouze důlní voda má celoroční stálou teplotu

kolísající kolem hodnoty 26 °C. Ve sledovaném období byly naměřeny průměrné hodnoty pro region Ostravska. Výraznější klimatické extrémy byly naměřeny ve dnech 22.-24.1.2006 a to teplota v ranních hodinách klesala až k -27 °C. Teplota řeky Ostravice se pohybovala v rozmezí hodnot 2,3 - 25,06 °C. Teplota řeky 2,3°C byla naměřena v již zmiňovaný den a to 24.1.2006 při -27 °C. Nejvyšší teplota řeky byla naměřena 21.7.2007 a to 25,06 °C při venkovní teplotě předešlého dne 35 °C. Teplota vody řádu se pohybuje mezi hodnotami 7,6 °C, dne 17.2.2006, a 15,5 °C, dne 18.8.2006. Kolísání teplot vod kopíruje hodnoty teplot venkovního vzduchu. Izolovanost vodovodního řádu od okolních teplot nám znázorňuje určité zpoždění při změnách teplot.

Ze znázorněných hodnot v grafu 2.2 je zřejmý vliv paralérní spolupráce dvou ponorných čerpadel na stav hladiny důlní vody. Čerpání vody jedním čerpadlem je nedostačující a tak až se hladina přiblíží k hodnotě -383 m.n.m. je do čerpání zapojeno i druhé čerpadlo.



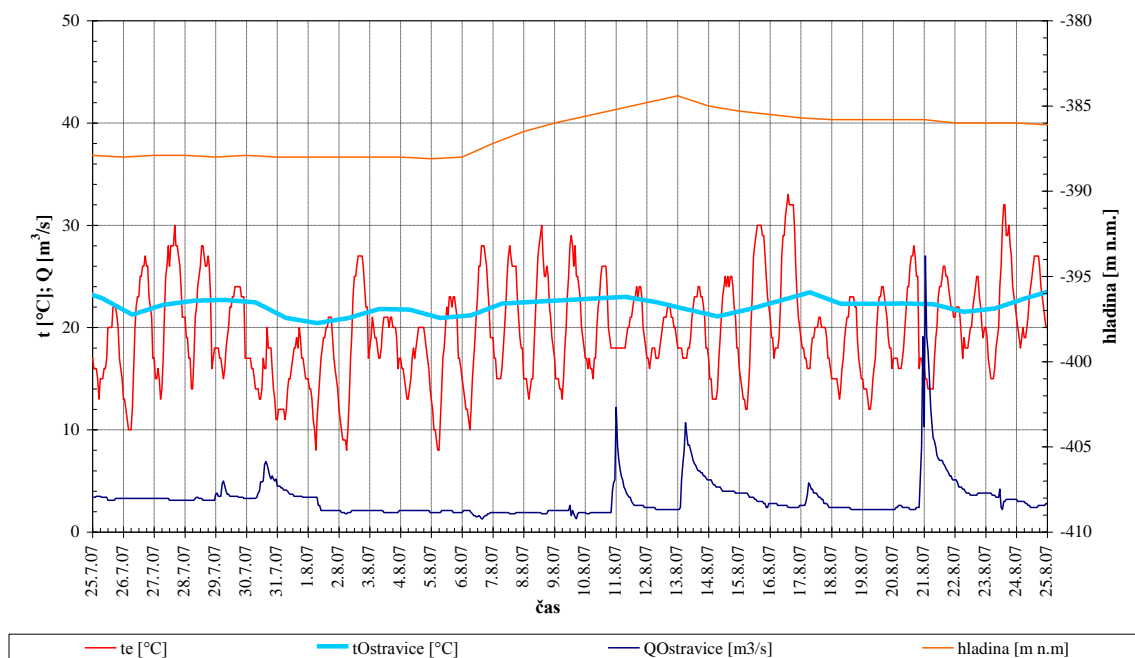
**Graf 2.1 Průběhy teplot**



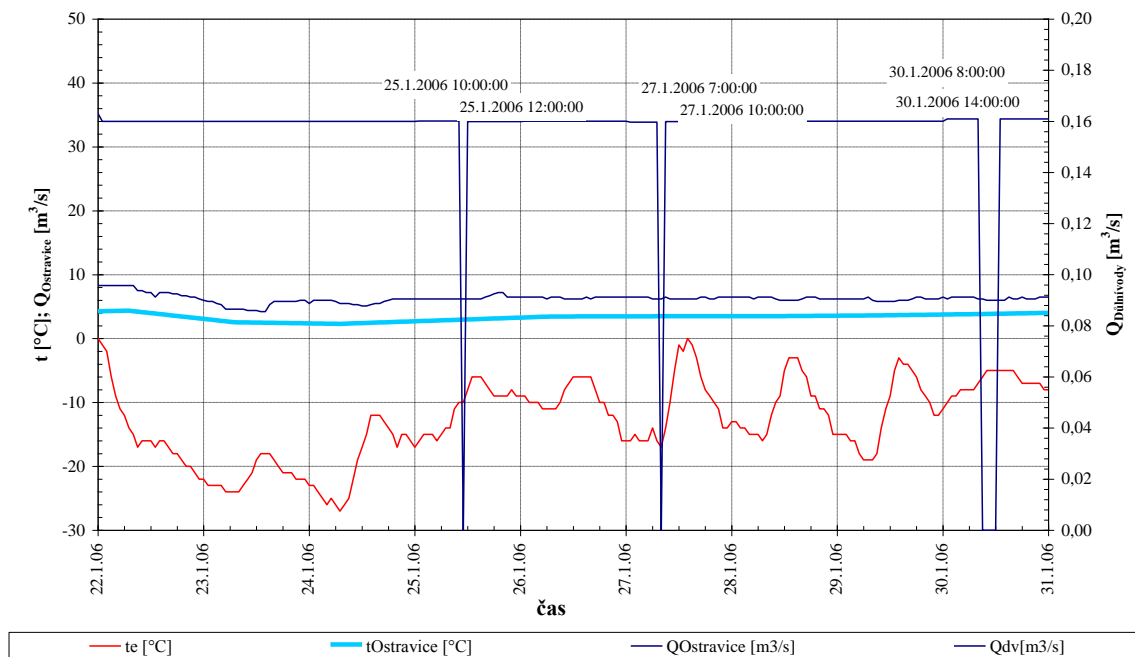
**Graf 2.2 Čerpání a stav hladiny**

Čerpání probíhá tak dlouho dokud se hladina nesníží na hodnotu cca -390 m.n.m.. Doba provozu obou čerpadel je přibližně jeden měsíc, a to většinou březen. Volba tohoto měsíce je z důvodů velkých průtoků v řece, kdy se zvedá hladina při tání sněhu. Čerpání neprobíhá soustavně, protože musí docházet k plánovaným odstávkám trvajícím 2 až 4 hodiny. Mimo plánované odstávky dochází také k odstávkám způsobených výkyvy počasí. V srpnu 2007

bylo zastaveno na téměř celý týden čerpání, přesně 167 hodin, z důvodů malého průtoku v řece. Celá situace je znázorněna v grafu 2.3. V grafu 2.4 je detailní zobrazení série odstávek v lednu 2006 zapříčiněné extrémní mrazy. Trvání nejdelší odstávky však bylo jen 6 hodin, což plánovanou odstávku navýší pouze o dvě hodiny.



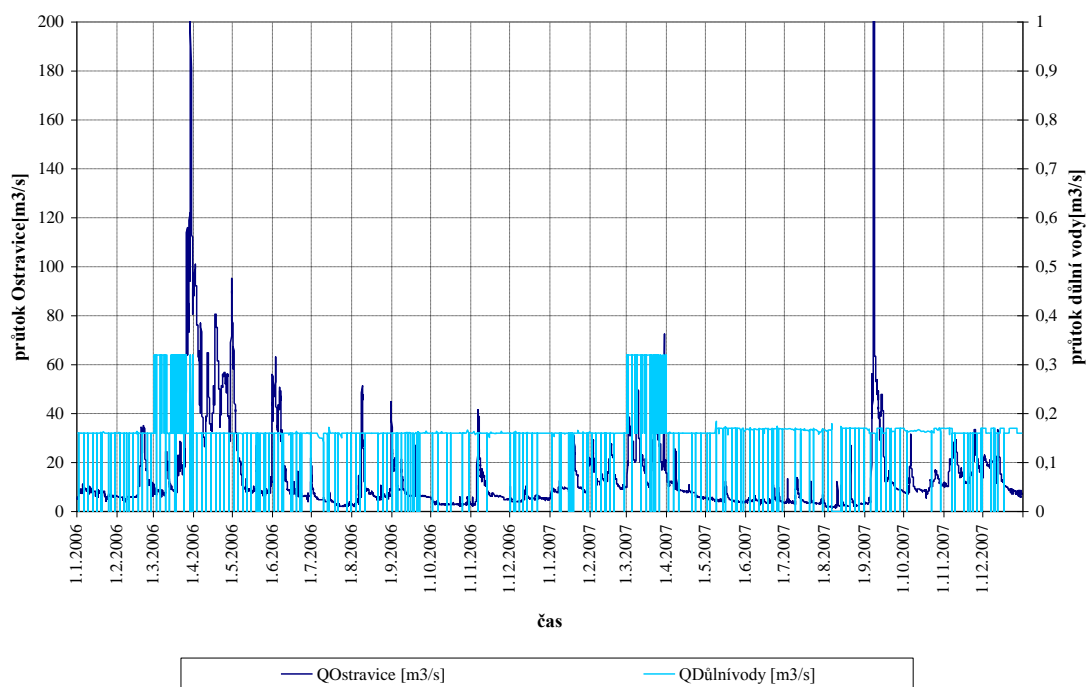
**Graf 2.3 Detailní pohled na odstávku v srpnu 2007**



**Graf 2.4 Detailní pohled na odstávky v lednu 2006**

Vyjádřením průběhů průtoků v řece Ostravici a množstvím důlní vody, která je vypouštěna do této řeky je v grafu 2.5. Obě stupnice grafu jsou v jednotkách  $\text{m}^3/\text{s}$ . Zatímco průtok důlní vody dosahuje při paralérní spolupráci obou čerpadel maximální hodnotu  $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ , a to ještě pouze jednou do roka. Po zbytek roku je hodnota čerpání na  $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ . Množství vody v řece je víceméně závislé na ročním období a samozřejmě také na klimatických podmínkách.

Maximálního průtoku dosahovala řeka dne 7.9.2007 a to  $327 \text{ m}^3/\text{s}$ , nejnižší hodnotu pak dne 6.8.2007 a to  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

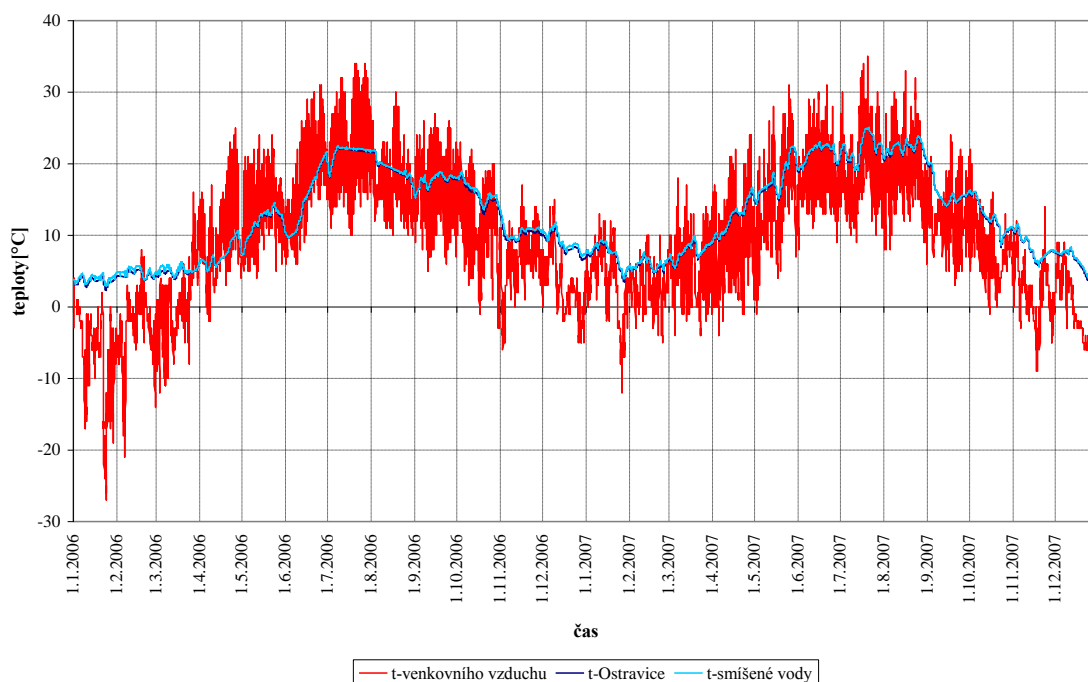


**Graf 2.5 Průběhy průtoků**

Z předešlého grafu je zřejmé, že při tak velkých rozdílech průtoků, je vliv teploty důlní vody na vodu v řece minimální. Ochlazení vody v řece, které nemá negativní vliv na kvalitu vody, nepřichází v úvahu, protože teplota vypouštěné vody je kolem  $26^\circ\text{C}$ . Kdežto oteplení říční vody i několik málo desetin  $^\circ\text{C}$  může mít likvidační charakter pro rostliny a živočichy žijící v Ostravici. Ochrana živočichů a rostlin před takovým „tepelným znečištěním“ je ustanovena dle:

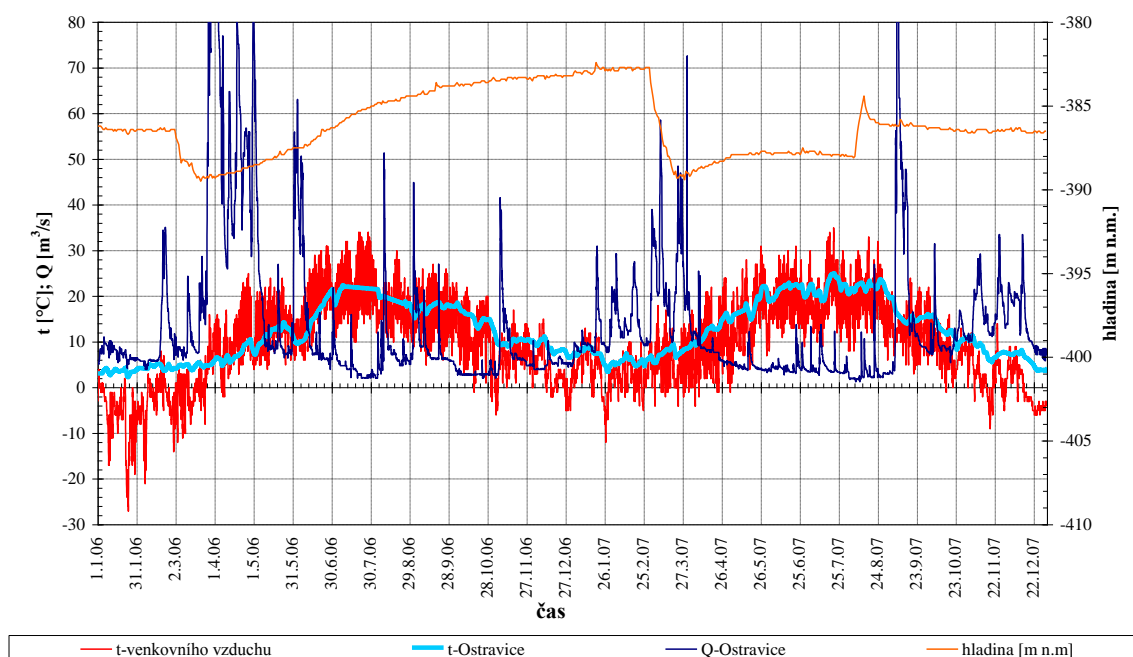
*Nařízení vlády 71/2003 Sb. O stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod.*

Neméně důležité je také chemické složení vody. Důlní voda obsahuje velké množství soli, která by při nevhodném poměru k vodě v řece Ostravici způsobila nemalé škody vodním živočichům a rostlinstvu. Graf 2.6 zachycuje průběh těchto teplot.



**Graf 2.6 Průběhy teplot v řece Ostravici**

V grafu 2.7 je zachycen průběh všech měřených veličin.



**Graf 2.7 Průběh všech měřených veličin**

### 3 Variantní řešení a stanovení maximálních a užitečných zisků

#### 3.1 Stanovení tepelného potenciálu

Základními předpoklady pro stanovení celkového potenciálu nízkoteplotního zdroje jsou, objemový průtok čerpané důlní vody a ten činí 160 l/s tedy 160 kg/s a stálá teplota důlní vody a to 26 °C.

Vztah podle kterého se určí celkový potenciál nízkoteplotního zdroje je [2]:

$$Q_0 = m \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \quad (3.1)$$

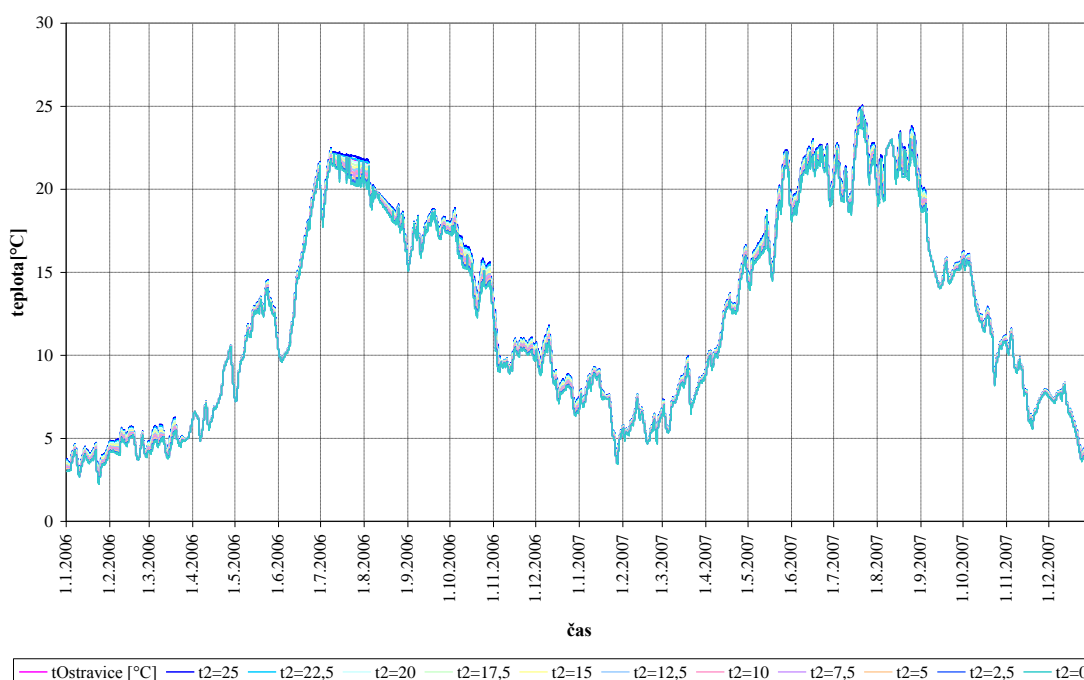
kde: m-měrný průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

c-měrná tepelná kapacita čisté vody ( $c = 4,186 \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ )

$t_1$ -teplota důlní vody [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_2$ -teplota na kterou lze důlní vodu ochladit [ $^{\circ}\text{C}$ ]

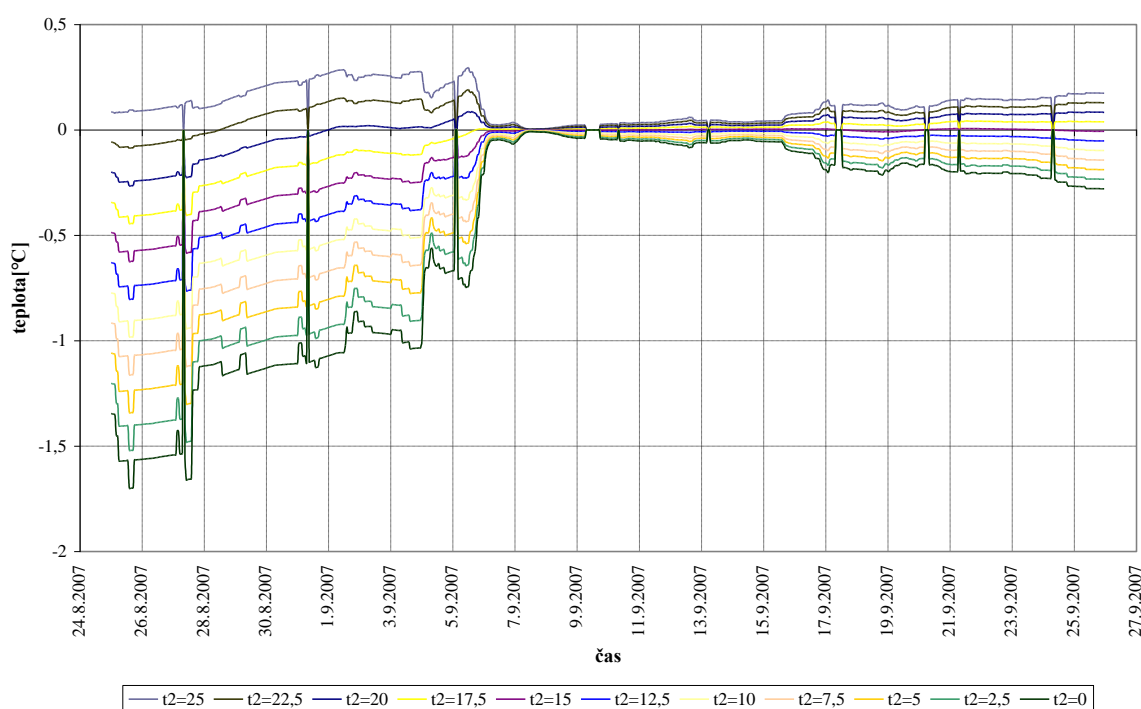
Jedinou veličinou, která má vliv na velikost tepelného potenciálu je teplota  $t_2$ . Tedy teplota na kterou lze důlní vodu ve výparníku tepelného čerpadla ochladit. Teplotní rozsah ochlazování důlní vody je od 26°C do 0 °C. Na grafu 3.1 je znázorněn vliv vypouštěné vody z tepelného



Graf 3.1 Vliv ochlazované vody na vodu v řece

čerpadla na celkovou teplotu vody v řece. V případě, že tepelné čerpadlo ochladí důlní vodu pouze o  $1^{\circ}\text{C}$ , tak maximální hodnota oteplení bude o necelý  $1^{\circ}\text{C}$  větší než v místě před vpuštěním důlní vody do řeky. Naopak při nejvíce možném ochlazení důlní vody, tedy na teplotu  $0^{\circ}\text{C}$ , dojde k ochlazení vody v řece o téměř o  $2^{\circ}\text{C}$ .

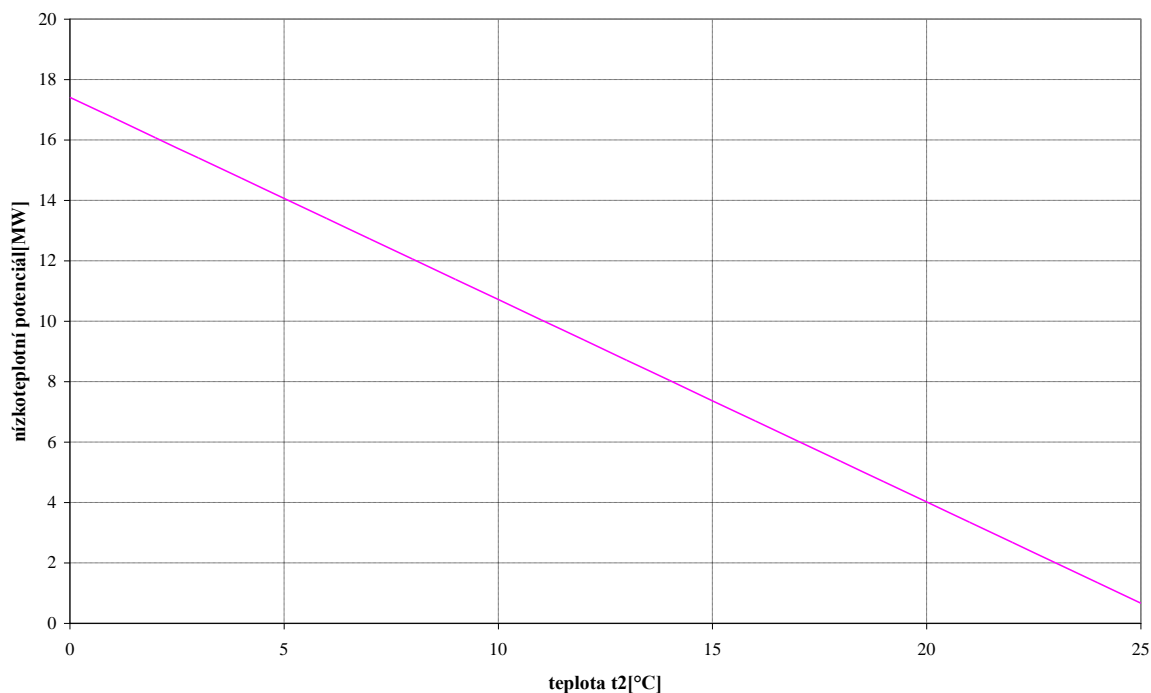
Na grafu 3.2 je detailně zobrazen vliv ochlazování důlní vody na výslednou teplotu v řece Ostravici. Záporné hodnoty ukazují, že v teplých dnech a při využití maximálního tepelného potenciálu dochází již ke zmiňovanému ochlazení. Z grafu jsou také zřejmé odstávky čerpání vody. Největší z nich byla dne 9.9.2006.



**Graf 3.2 Detailní zobrazení ochlazení vody v řece**

Maximální tepelná hodnota nízkoteplotního zdroje je dosažena při ochlazení vody na teplotu  $0^{\circ}\text{C}$  a to 17,41 MW. Ideální hodnota vychlazené důlní vody by byla přibližně o stejné teplotě jako je teplota v řece Ostravici. Vzhledem k tomu, že teplota v řece je závislá na teplotě okolního vzduchu a tedy na ročním období, pohybuje se v rozmezí od  $3^{\circ}\text{C}$  do  $25^{\circ}\text{C}$ . Tak vážený průměr teploty v řece je  $14^{\circ}\text{C}$  a této teplotě odpovídá hodnota  $Q_0 = 8,037 \text{ MW}$  potenciálu nízkoteplotního zdroje.

Závislost velikosti nízkoteplotní energie na změně teploty  $t_2$  je na grafu 3.3.



Graf 3.3 Nízkoteplotní potenciál v závislosti na změně teploty  $t_2$

### 3.2 Stanovení topného potenciálu

Závislost celkového topného potenciálu na teplotě ochlazení důlní vody  $t_2$  je zpracován v tabulce 3.1, kde význam zkratk je:

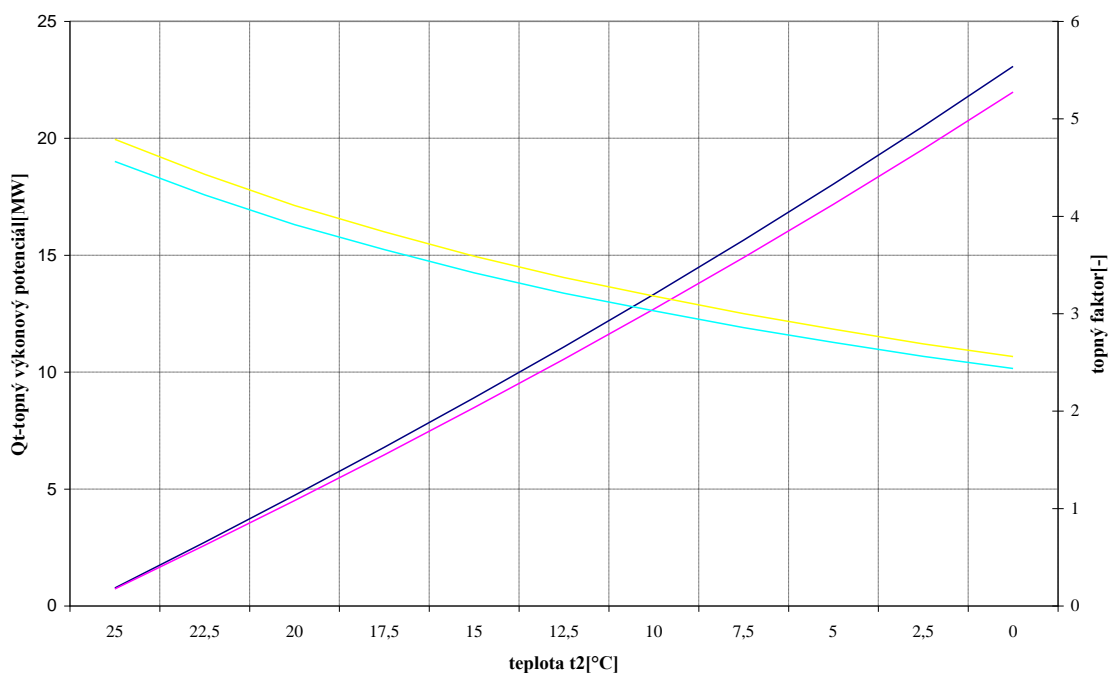
- $Q_T$  topný výkonový potenciál tepelných čerpadel bez uvažovaných ztrát v rozvodech
- $\varepsilon_T$  topný faktor bez uvažovaných ztrát
- $Q_{skut}$  výkonový potenciál tepelných čerpadel s uvažovanými tepelnými ztrátami v rozvodech ve výši 5 %
- $\varepsilon_{skut}$  topný faktor s uvažovanými tepelnými ztrátami v rozvodech ve výši 5ti %

Tabulka 3.1 Celkový tepelný potenciál

$t_2$ [°C]	$Q_T$ [kW]	$\varepsilon_T$ [-]	$Q_{T\_skut}$ [kW]	$\varepsilon_{T\_skut}$ [-]
25.0	768	4.79	729	4.55
22.5	2721	4.43	2585	4.21
20.0	4726	4.11	4489	3.91
17.5	6785	3.84	6445	3.64
15.0	8902	3.59	8457	3.41
12.5	11081	3.37	10527	3.20
10.0	13326	3.18	12660	3.02
7.5	15643	3.00	14861	2.85
5.0	18035	2.84	17134	2.70
2.5	20510	2.69	19485	2.56
0.0	23073	2.56	21919	2.43



Grafické znázornění tabulky 3.1 je na grafu 3.4.



Graf 3.4 Znárodnění topného výkonu a topného faktoru na teplotě  $t_2$

### 3.3 Stanovení maximálních a užitečných tepelných zisků

Objekty pro které stanovují tepelné zisky slouží jako administrativní a průmyslové budovy. Tepelný výkon, který je potřebný k vytvoření stavu tepelné pohody, je 4 MW. Termín tepelná pohoda znamená, že ve vytápěných prostorech musí být dosaženo takových tepelných poměrů, při nichž člověk necítí ani chlad ani nadměrné horko. Tento tepelný výkon musí být v rovnováze s výkonem otopného systému, který musí zajistit v místnosti dostatek tepla, aby došlo k pokrytí tepelných ztrát. Tepelná ztráta vytápěného objektu závisí na rozdílu mezi teplotou vnitřní a vnější, součiniteli prostupu tepla a povrchu objektu [2][10]. Za předpokladu konstantního prostupu tepla a povrchu objektu lze tepelnou ztrátu objektu vyjádřit vztahem:

$$Q_Z = Q_{Z,N} \cdot \frac{t_i - t_e}{t_i - t_{e,N}} \quad (3.2)$$

kde:  $Q_Z$ -tepelná ztráta objektu [W] při  $t_e$ -teplotě vnějšího vzduchu [°C]

$Q_{Z,N}$ - tepelná ztráta objektu [W] při  $t_{e,N}$ -nejnižší venkovní teplotě [°C] dané pro jednotlivá místa v ČR dle ČSN 06 0210, pro Ostravu je hodnota

$$t_{e,N} = -15 \text{ °C}$$

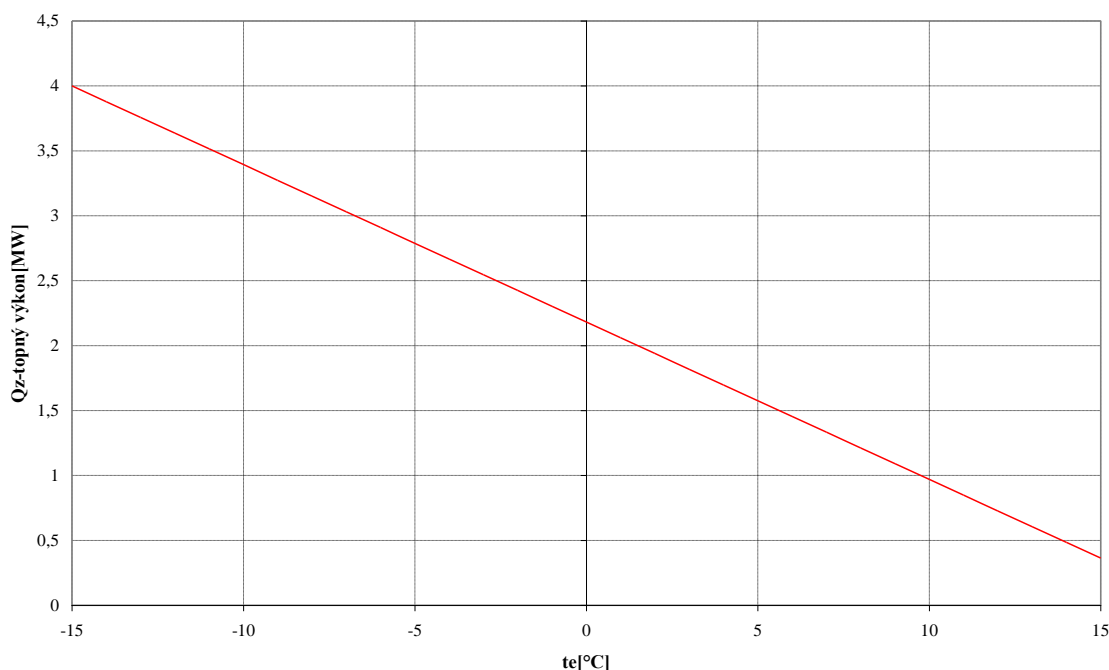
$t_i$ -vnitřní teplota objektu, dle ČSN EN 12831 hodnota  $t_i = 18 \text{ °C}$

$t_e$ -venkovní teplota

Další požadavek je, aby vnitřní teplota objektu  $t_i$  byla pokud možno stála. Pak tedy průběh tepelné ztráty objektu je závislý pouze na venkovní teplotě. Ze vztahu je zřejmé, že při venkovní teplotě vzduchu  $18\text{ °C}$  je topný výkon nulový, tím tepelné ztráty objektu.

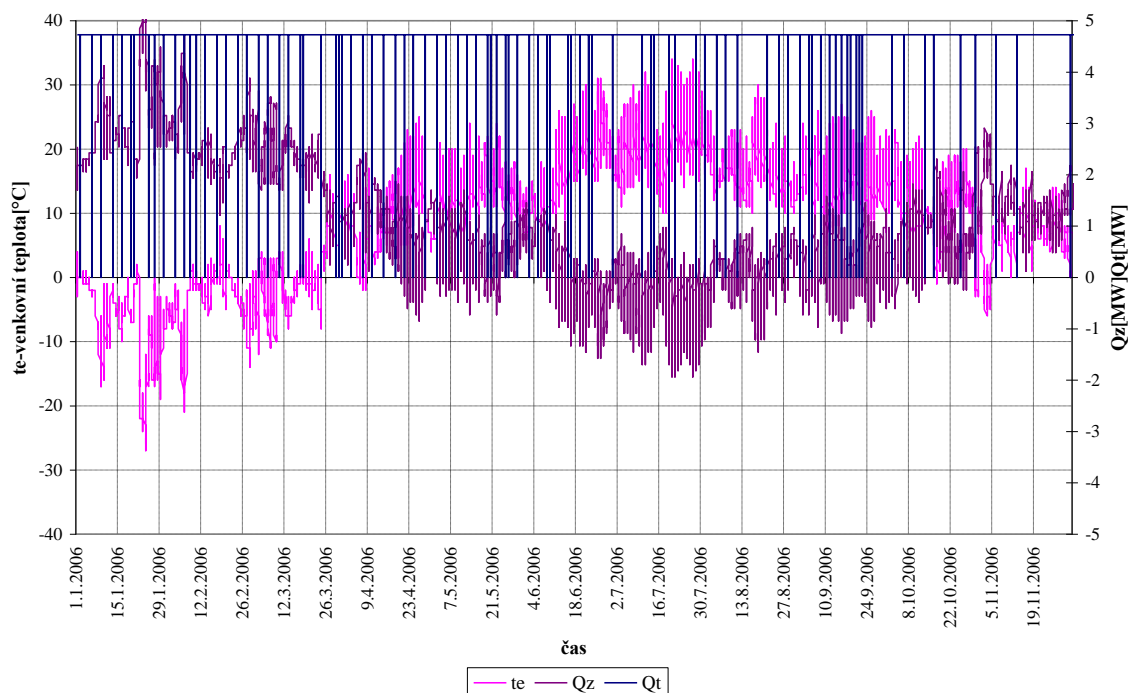
Podle *MPO č. 152/2001 Sb.* otopné období začne, jakmile klesne průměrná denní teplota venkovního vzduchu pod hodnotu  $13\text{ °C}$  ve dvou následujících dnech, taktéž otopné období skončí jakmile průměrná denní teplota venkovního vzduchu překročí hranici  $13\text{ °C}$ . V případě, že v následujících dnech teplota poklesne je možné vytápění obnovit.

Průběh tepelné ztráty objektu, tedy topného výkonu v závislosti na venkovní teplotě  $t_e$  je znázorněn v grafu 3.5



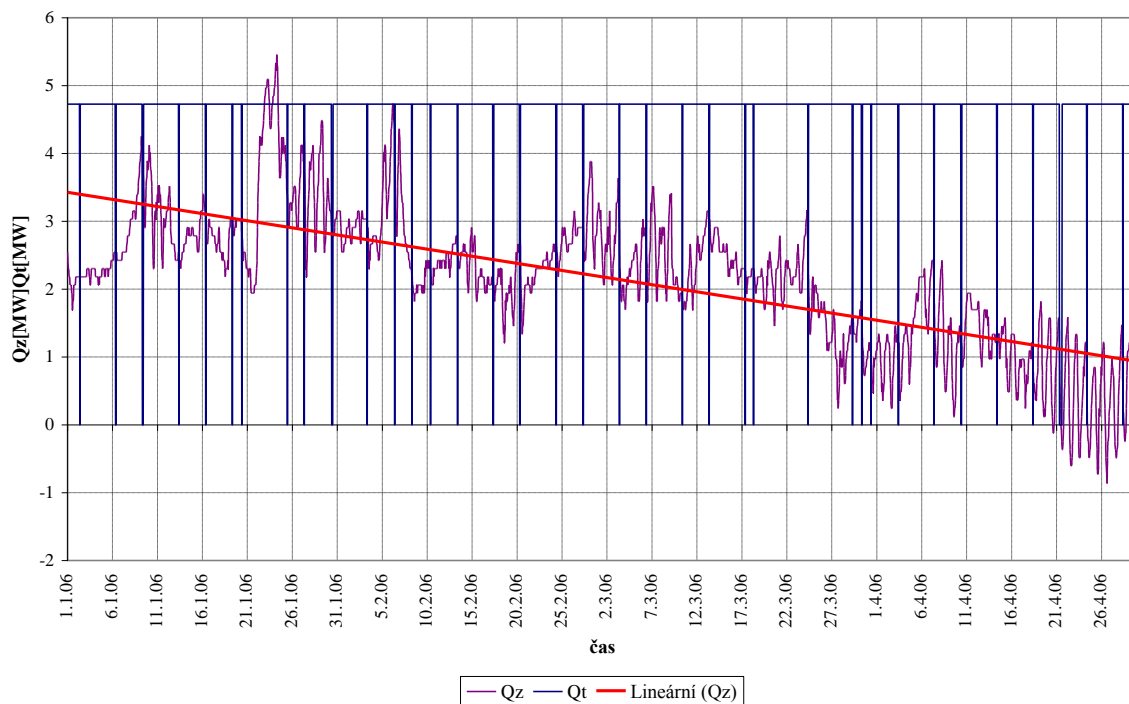
**Graf 3.5 Závislost topného výkonu na venkovní teplotě**

V grafu 3.6 je znázorněn průběh teploty venkovního vzduchu, potřebného topného výkonu (užitečný tepelný zisk) a tepelný výkon (maximální tepelný zisk) získaný tepelným čerpadlem za rok 2006. Rok 2006 je chladnější jak rok 2007. A tak jsem zvolil rok 2006 kvůli lepší možnosti nasimulovat průběh výkonů a funkci tepelného čerpadla.

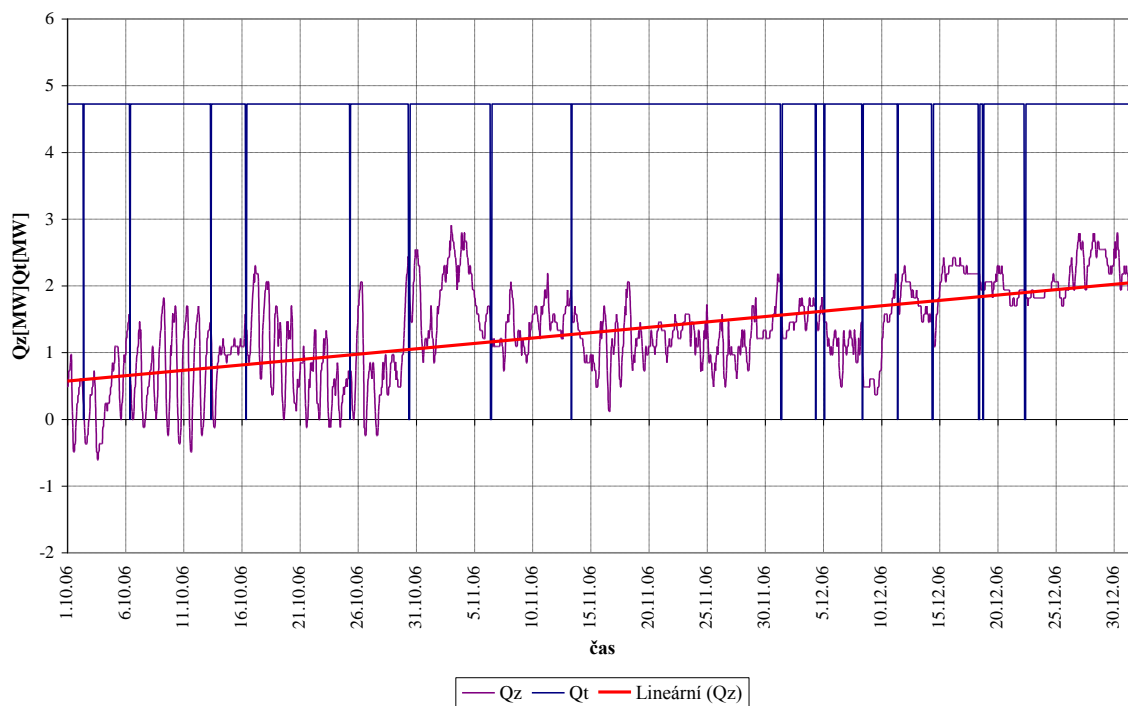


**Graf 3.6 Závislost venkovní teploty, topného a tepelného výkonu**

Detailní zobrazení otopného období za rok 2006 je v grafech 3.7 (měsíce leden až duben) a 3.8. (měsíce říjen až prosinec). V křivce tepelného výkonu  $Q_t$  jsou vidět jasné poklesy až na nulu, tyto výpadky v dodávce tepelného výkonu jsou způsobeny pravidelnými nucenými odstávkami při čerpání důlní vody. Tyto odstávky trvají řádově několik hodin a ztráta tepelného výkonu lze zanedbat z důvodu velké setrvačnosti otopného systému [1]. Popřípadě zapojit do otopného systému akumulační nádrž, která v době odstávky bude tvořit zdroj teplé vody pro otopný systém.



**Graf 3.7 Otopné období leden až duben 2006**



**Graf 3.8 Otopné období říjen až prosinec 2006**

## 4 Výběr optimální varianty- návrh TČ a jeho zapojení do otopného systému

Z důvodu zachování současného otopného systému je zapotřebí navrhnout takové tepelné čerpadlo u kterého kondenzační teplota dosahuje  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  a je schopno pracovat s teplotou média primárního okruhu (důlní voda)  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  [5]. A zajistit potřebný tepelný výkon, který je potřebný k vytápění objektů. Hodnota tepelného výkonu je 4 MW. Tepelné čerpadlo o takovém výkonu se prakticky nevyrábí. K získání takových tepelných výkonů je potřeba provést kaskádní zapojení několika tepelných čerpadel, které se již nachází v nabídkách výrobců a jejich výkon je řádově ve stovkách kW. Schéma takového zapojení je uvedeno v příloze. Tyto tepelná čerpadla se řadí podle výkonu již do kategorie větších tepelných čerpadel. Tuto výkonovou kategorii nejčastěji zastupují výrobci pístových a šroubových kompresorů, popřípadě velké mezinárodní firmy zabývající se technologickým chlazením v potravinářství, průmyslových oblastech a výrobci klimatizací. Hlavním znakem je, že ke stlačení chladiva se používá vícestupňová komprese, kompresorové jednotky složené z více kompresorů anebo šroubové kompresory.

### 4.1 Návrh tepelného čerpadla

Z produktové nabídky společnosti G-TERM, odštěpného závodu HENNLICH INDUSTRIE TECHNIK spol. s r. o., jsem vybral modelovou řadu tepelných čerpadel s označením WATERKOTTE DS 6500 [12]. Výběr tohoto typu tepelného čerpadla jsem provedl na základě těchto požadavků:

- teplota topné vody (  $65^{\circ}$  )
- ekologické chladivo R 134a ( jednosložkové fluorované chladivo bez obsahu chloru )
- dostatečné výkonové parametry



Obrázek 4.1 Tepelné čerpadlo WATERKOTTE DS 6500

## Popis zařízení

Tento typ tepelného čerpadla je umístěn na ocelovém rámu s ohledem na možnost servisního zásahu. Kompresor je zde použit šroubový s plynulou regulací výkonu.

Jako základní prvek pro výparník i kondenzátor slouží nerezový deskový výměník, který je pájený mědí a kompletně zaizolovaný. Zařízení je vybaveno mikroprocesorem, který neustále provádí diagnostiku celého systému.

## Technické parametry

Veškeré technické parametry jsou převzaty z technických listů dané modelové řady.

**Tabulka 4.1 Přehled všech typů modelové řady DS 6500**

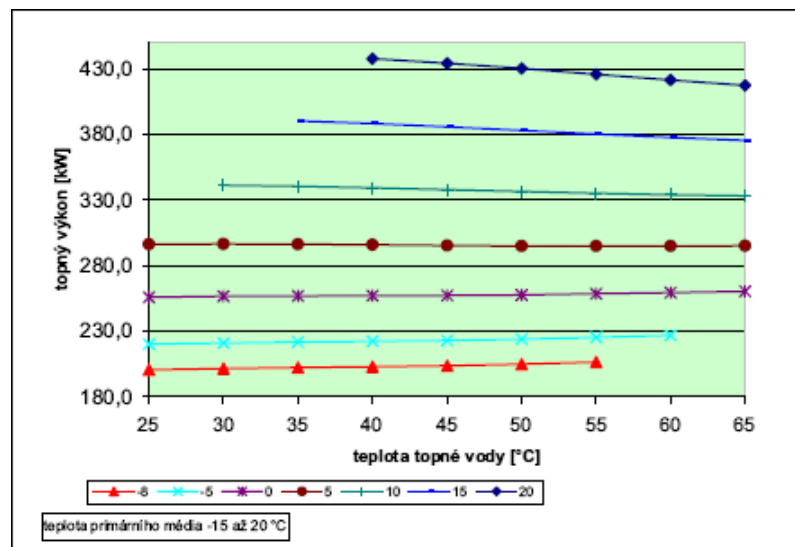
Tepelné čerpadlo Waterkotte	6237.4	6271.4	6299.4	6388.4	6438.4	6485.4
Příkon/výkon při W10/W35 [kW]	27,9/164,4	32,3/186,7	35,8/207,3	44,6/269,3	51,1/302,7	56,5/340,6
Průtok primární vody [m³/h] při W10/W35	29,4	33,2	36,9	48,4	54,2	61,1
Min. průtok primární vody [m³/h] při W10/W35	19,6	22,2	24,6	32,3	36,1	40,8
Tlaková ztráta výparníku [bar]	0,2	0,21	0,26	0,26	0,28	0,27
Průtok vody v topném okruhu [m³/h] při W10/W35	28,3	32,2	35,7	46,4	52,1	58,7
Tlaková ztráta kondenzátoru [bar]	0,18	0,19	0,23	0,23	0,25	0,24
Meze nasazení	B-8/W55 resp. W5/W65					
Kompresor	šroubový					
Elektrické parametry						
Rozběhový proud [A]	290	350	423	483	571	615
Maximální provozní proud [A]	110	127	140	164	190	205
Velikost hlavního jističe [A]	130	160	160	200	224	224
Velikost jističe regulace [A]	10	10	10	10	10	10
Rozměry, hmotnosti, připojení						
Objem olejové náplně kompresoru [l]	14	14	14	15	15	15
Náplň chladiva R134a [kg]	19,5	26,5	30	36	45	54
Hmotnost [kg]	1100	1160	1180	1600	1660	1720
Připojení - primární zdroj/sekundární strana	systémové připojení Victualic, 3" - 5 1/2"					
Rozměry š x v x d [mm]	230 x 1800 x 955					

Z uvedených typů v Tabulce 4.1 volím nejvýkonnější tepelné čerpadlo s označením **6485.4**.

Tabulka 4.2 obsahuje závislost velikosti topného výkonu na proměnlivých teplotách jak primárního média tak topné vody. Grafické znázornění tabulky 4.2 je v grafu 4.1.

**Tabulka 4.2 Topný výkon**

Topný výkon [kW]								
		Teplota primárního média [°C]						
		-8	-5	0	5	10	15	20
Teplota topné vody [°C]	25	200,6	220,2	256,0	296,3			
	30	201,6	221,1	256,7	296,6	341,3		
	35	202,3	221,8	257,0	296,3	340,6	390,3	
	40	202,9	222,3	257,1	295,9	339,3	388,4	437,8
	45	203,7	223,0	257,4	295,4	338,0	385,9	434,4
	50	204,9	224,0	257,8	295,0	336,5	383,1	430,3
	55	206,5	225,4	258,6	294,9	335,2	380,3	425,9
	60		226,9	259,5	295,0	334,1	377,7	421,5
	65			260,4	295,2	333,3	375,4	417,4

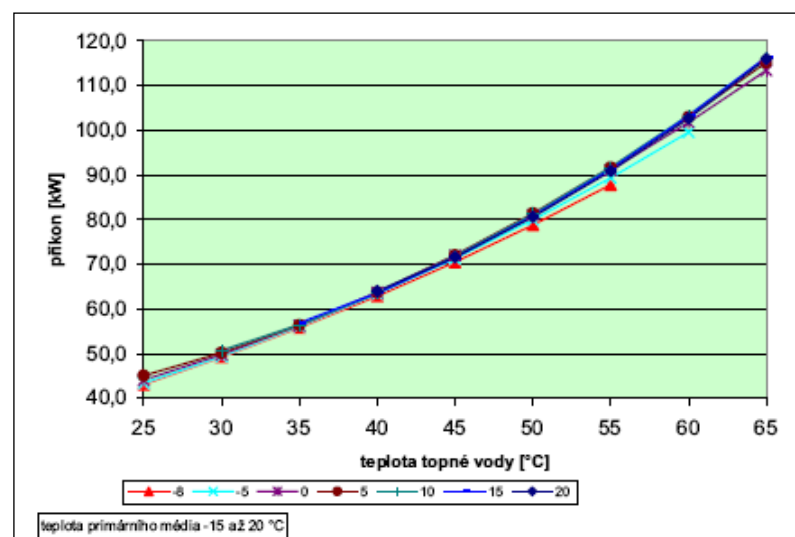


Graf 4.1 Závislost topného výkonu na teplotě topné vody

Tabulka 4.3 obsahuje hodnoty příkonu kompresoru v závislosti na měnících se teplotách primárního média a topné vody. Graf 4.2 je znázorněním tabulky 4.3.

Tabulka 4.3 Příkon kompresoru

Příkon [kW]		Teplota primárního média [°C]							
Teplota topné vody [°C]		-8	-5	0	5	10	15	20	
	25	43,1	43,4	44,1	45,1				
	30	49,2	49,4	49,8	50,2	50,7			
	35	55,8	56,1	56,3	56,4	56,5	56,9		
	40	62,9	63,4	63,7	63,7	63,5	63,6	64,0	
	45	70,5	71,3	72,0	72,0	71,8	71,5	71,6	
	50	78,8	80,0	81,1	81,4	81,2	80,8	80,6	
	55	87,8	89,4	91,1	91,7	91,7	91,3	90,9	
	60		99,6	101,8	103,0	103,4	103,2	102,7	
	65			113,4	115,2	116,2	116,4	116,0	

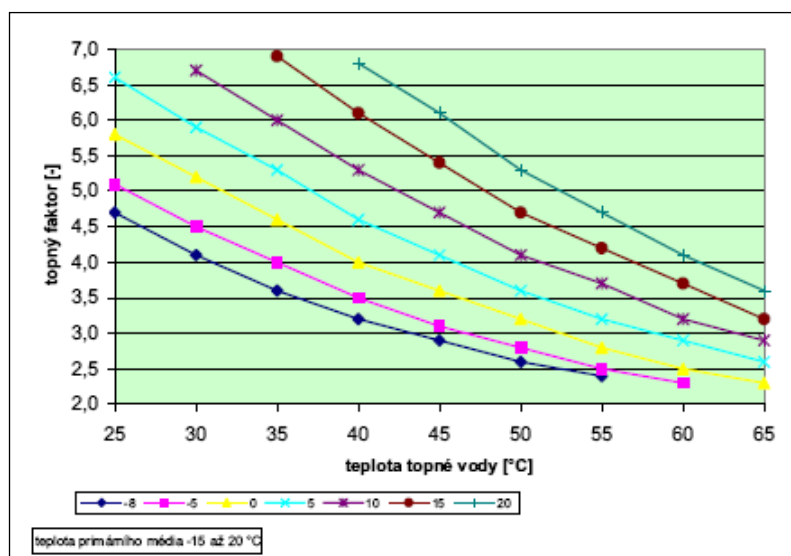


Graf 4.2 Závislost příkonu na teplotě topné vody

Hodnoty topného faktoru jsou v tabulce 4.4 a tyto hodnota závislé na teplotě topné vody jsou v grafu 4.3.

**Tabulka 4.4 Topný faktor**

Topný faktor [-]								
		Teplota primárního média [°C]						
		-8	-5	0	5	10	15	20
Teplota topné vody [°C]	25	4,7	5,1	5,8	6,6			
	30	4,1	4,5	5,2	5,9	6,7		
	35	3,6	4,0	4,6	5,3	6,0	6,9	
	40	3,2	3,5	4,0	4,6	5,3	6,1	6,8
	45	2,9	3,1	3,6	4,1	4,7	5,4	6,1
	50	2,6	2,8	3,2	3,6	4,1	4,7	5,3
	55	2,4	2,5	2,8	3,2	3,7	4,2	4,7
	60	2,3	2,5	2,9	3,2	3,7	4,1	
	65			2,3	2,6	2,9	3,2	3,6



**Graf 4.3 Topný výkon v závislosti na teplotě topné vody**

Z tabulky 4.1 odečteme topný výkon tepelného čerpadla při teplotě topné vody 65 °C a teplotě primární vody 20 °C. Tomu odpovídá maximální topný výkon  $Q_t = 417,4$  kW. Z toho vyplývá, že na pokrytí tepelného výkonu  $Q_Z = 4$  MW bude potřeba 10 kusů takto výkonných zařízení. Příkon jednoho tepelného čerpadla je, dle tabulky 4.3,  $P = 116$  kW, tedy příkon všech 10ti zapojených tepelných čerpadel bude mít příkon  $P_c = 1,16$  MW. A topný faktor je podle tabulky 4.4 roven hodnotě  $\epsilon_T = 3,6$  [-].



## 5 Odhad přínosu nasazení TČ z ekonomického a environmentálního hlediska

První TČ byla v bývalém Československu uvedena do provozu již v 50. letech minulého století. Důvodem byla snaha šetřit paliva a energie v poválečných letech, kdy zajistit tyto paliva a energie pro rozvoj národního hospodářství bylo obtížné. TČ bylo využito k vysoušení s vykondenzováním rozpouštědel při lití filmové podložky (UMA Semtín), nebo k sušení při lití filmové emulze (Foma Hradec Králové). K prvnímu rozsáhlejšímu využití došlo až začátkem 80. let 20. století, v době tzv. „světové energetické krize“. Výrazný rozvoj využití TČ lze sledovat až na začátku 90. let minulého století. V posledních letech se TČ stávají již ekonomickým a ekologickým zdrojem tepla pro vytápění a přípravu TUV ve větší míře než koncem minulého století.

V následujících kapitolách bude provedeno srovnání vytápění objektu s tepelnou ztrátou 4 MW pomocí TČ a plynovou kotelnou na zemní plyn. Posouzení bude provedeno z environmentálního a ekonomického hlediska.

### 5.1 Environmentální hledisko

#### Elektrická energie

Obvykle se environmentální přínos úspor elektrické energie stanovuje s využitím průměrného ročního emisního faktoru pro systémovou elektřinu pro celou českou republiku (tabulka 5.1), který udává celkové množství vyprodukovaných emisí dané látky vztažené na celkové množství vyrobené elektrické energie ve všech systémových elektrárnách v celé ČR. Emisní faktor se udává v g/kWh, kg/MWh nebo kg/GJ.

**Tabulka 5.1 Emisní faktory pro systémovou elektřinu kg/ GJ**

Typ zdroje emisí	TL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Org. látky*	CO <sub>2</sub>
elektřina- systémové zdroje(včetně vodních a jaderných)	0,02591	0,489376	0,415698	0,0393	0,03086	325

Zdroje pomocí kterých vznikla Tabulka 5.1:

SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> - Schválený scénář Státní energetické koncepce z roku 2004, emisní faktory pro rok 2005 (po uvedení Temelína do provozu, scénář je zpracován po dobu 5ti let).

TL, CO, organické látky - Katalog opatření pro snížení energetické náročnosti (propočty SRC International CS, s.r.o. na základě REZZO 1999).

CO<sub>2</sub> - vyhláška č. 425/2004 Sb.

V konkrétním výpočtu emisních hodnot bude počítáno pouze s příkonem kompresorů TČ, tedy emisní hodnoty vzniklé při výrobě elektrické energie nutné pro pohon kompresorů. Spotřeba ostatních zařízení, ponorná a dopravní čerpadla, je zanedbána.

Celková spotřeba tepelné energie:  $E = 8973,33 \text{ MWh}$

Celkový příkon kompresorů TČ:  $P_{ieC} = 2602,26 \text{ MWh}$

$$P_{ieC} = 2602,26 \cdot 3,6 = 9368,16 \text{ GJ} \quad (5.1)$$

Emise, které vzniknou vyrobením energie potřebné pro pohon kompresorů jsou znázorněny v tabulce 5.2

**Tabulka 5.2 Emisní hodnoty**

Typy emisí	TL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Org. látky*	CO <sub>2</sub>
množství [kg]	242,7291	4584,553	3894,326	368,1687	289,1014546	3044652

## Tepelná energie

V souvislosti s přijetím *Zákona o ovzduší 86/2002 Sb.* je stanovení emisí znečišťujících látek ze spalovacích zdrojů výpočtem upraveno *Nařízením vlády č.352/2002 Sb.*, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.

Hodnota emisních faktorů pro stanovení množství emisí výpočtem při spalování paliv jsou uvedeny v příloze č.5 k tomuto nařízení vlády. Část této přílohy je uvedena v tabulce 5.3.

**Tabulka 5.3 Emisní faktory**

Druh paliva	Topeniště	Tepelný výkon kotle	TL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Org. látky*
zemní plyn	jakékoliv	≤ 0,2 MW	20	2,0 S [9,6]	1600	320	64
		0,2 až 5 MW	20	2,0 S [9,6]	1920	320	64
		5 až 50 MW	20	2,0 S [9,6]	3300	270	24
		50 až 100 MW	20	2,0 S [9,6]	4200	270	24
		> 100 MW	20	2,0 S [9,6]	5000	270	8

Poznámka: Hodnoty emisních faktorů jsou v jednotkách kg/10<sup>6</sup>.m<sup>3</sup> spáleného zemního plynu.

S- značí obsah síry v původním vzorku paliva v  $\text{mg/m}^3$ . Pokud není znám obsah síry S používají se hodnoty v závorkách.

Organické látky jsou vyjádřené jako celkový organický uhlík C

Pomocí vyhlášky č. 425/2004 Sb. vypočítat množství emisí  $\text{CO}_2$ , kde emisní faktor pro spalování ZP je: 200 kg/ MWh výhřevnosti paliva.

Konkrétní výpočet množství spáleného zemního plynu a vzniklých emisí.

Celková spotřeba tepelné energie:  $E = 8973,33 \text{ MWh}$

$$E = 32303,99 \text{ GJ}$$

výhřevnost zemního plynu:  $Q_i = 34,05 \text{ GJ/m}^3$

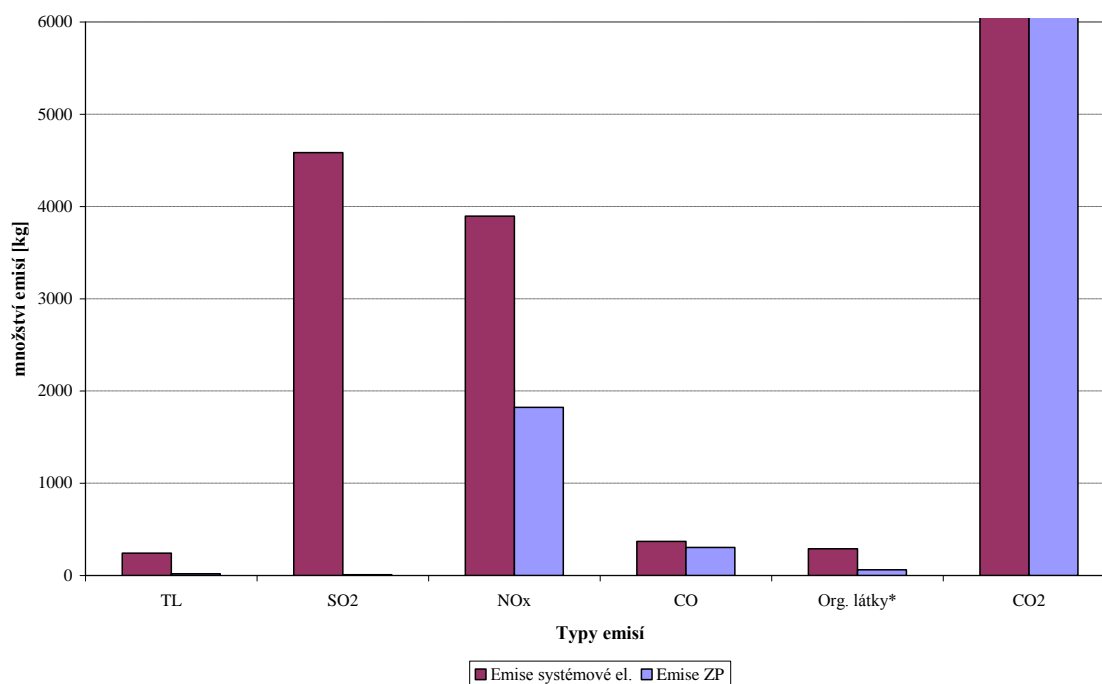
množství potřebného zemního plynu:  $m = \frac{E}{Q_i} = \frac{32303,99}{34,05} = \underline{948,722 \text{ tis. m}^3} \quad (5.2)$

Emise, které vzniknou spálením množství m zemního plynu je v tabulce 5.4

**Tabulka 5.4 Emisní hodnoty**

Typy emisí	TL	SO <sub>2</sub>	NOx	CO	Org. látky*	CO <sub>2</sub>
množství [kg]	18,97444	9,107731	1821,546	303,591	60,718208	1794666

Porovnání množství emisí vzniklých spálením ZP a při výrobě systémové elektřiny je v grafu 5.1.



**Graf 5.1 Porovnání emisí**

Z grafu 5.1 je zřejmé, že množství TL, SO<sub>2</sub> a Organických látek vzniklých při výrobě sys. elektřiny daleko větší než při spalení potřebného množství ZP. Množství NO<sub>x</sub> je po spalení ZP téměř poloviční jako při výrobě sys. elektřiny. Koncentrace CO je přibližně stejná u obou typů získávání energie. Emisní hodnoty CO<sub>2</sub> jsou mnohonásobně větší než ostatní hodnoty.

## 5.2 Ekonomické hledisko

Tepelná energie vyrobená TČ se může získat i jinými způsoby, jako je spalování uhlí, ZP apod. Tyto způsoby jsou většinou investičně levnější a provozně spolehlivější. K uplatnění TČ dochází v době kdy náklady na pořízení paliv a tedy i energií jsou srovnatelné s pořízením a provozem TČ. Dále také závisí na ekonomické dostupnosti získávané energie. V tomto případě kolik bude stát provoz čerpadel, která dopravují důlní vodu na povrch. Tento pohled můžeme také zanedbat, protože čerpání se provádí z důvodu, aby nedošlo k zatopení činných dolů, a využití energie důlní vody je pouze vedlejší produkt.

## Ekonomická efektivnost

Při posuzování ekonomické efektivnosti zařízení porovnáváme budoucí stav se současným [4]. Základním předpokladem je, že výrobní náklady po odečtení úroků a splátek úvěru po dobu splacení musí být menší jak stávající stav.

### **Prostá doba návratnosti**

Prostá návratnost investice je počet roků provozu, za které se úspory na výrobních nákladech oproti současnému stavu rovnají vynaloženým investicím. Vztah na výpočet

$$\text{prosté návratnosti:} \quad r = \frac{N_i}{N_{v1} - N_{v2}} \quad [\text{roků}] \quad (5.1)$$

kde:  $r$ - prostá návratnost (roky)

$N_i$ - investiční náklady (Kč)

$N_{v1}$ - původní roční náklady (Kč/rok)

$N_{v2}$ - nové roční náklady (Kč/rok)

### **Investiční náklady**

Pořizovací náklady tepelných čerpadel v počtu 10ti kusů jsou 51 450 000 Kč [11].

### **Náklady na vytápění**

Množství zemního plynu = 948,722 tis. m<sup>3</sup>

Cena zemního plynu = 11,07 Kč/m<sup>3</sup> [16]

Celkové roční náklady = 10 502 906,04 Kč

Spotřeba elektrické energie = 2602,267 MWh

Cena elektrické energie = 2,194 Kč/kWh [16]

Celkové roční náklady = 5 709 581,98 Kč

$$\text{Potom:} \quad r = \frac{N_i}{N_{v1} - N_{v2}} = \frac{51450000}{10502906 - 5709581} = \underline{\underline{10,7 \text{roků}}} \quad (5.2)$$

### **Rentabilita investice**

Rentabilita (výnosnost) investice je poměr výnosů investic a vložených investičních nákladů [9].

$$R = \frac{V_{pr}}{N_i} \quad [\%] \quad (5.3)$$

kde:  $R$ - rentabilita (%)

$V_{pr}$ - výnos průměrný roční (Kč)

$N_i$ - investiční náklady (Kč)

$$\text{Potom:} \quad R = \frac{V_{pr}}{N_i} = \frac{4793325}{51450000} = \underline{\underline{10,73\%}}$$

Ukazatel rentability investice je odvozen od obecně používaných ukazatelů výnosnosti kapitálu [9]. Jde o statickou metodu hodnocení efektivnosti investic, zhruba se stejnou spolehlivostí jako metoda prosté návratnosti.

### **Čistá současná hodnota (ČSH)**

Vyjadřuje v absolutní výši rozdíl mezi aktualizovanou (nebo současnou) hodnotou peněžních příjmů z investice a aktualizovanou hodnotu kapitálových zdrojů. Všechny varianty s čistou současnou hodnotou vyšší než nula jsou přípustné, protože přinášejí příjem alespoň ve výši úroků.

$$\text{ČSH} = \sum_n^N P_n \cdot \frac{1}{(1+i)^n} - k \quad (5.4)$$

kde:  $\sum_n^N P_n$  - suma peněžních příjmů v jednotlivých letech životnosti (Kč)

i- úrok (%)

n- jednotlivá léta životnosti (roky)

N- doba životnosti (roky)

k- kapitálový výdaj (Kč)

Hodnota  $\frac{1}{(1+i)^n}$  představuje tzv. diskontní faktor, resp. odúročitel.

Při praktickém výpočtu se výnosy vynásobí příslušným diskontním faktorem a tak se určí přepočtené diskontované hodnoty, od kterých po jejich sečtení odečteme výši jednorázového vloženého počátečního kapitálu. Investice je rozložena do 20 let životnosti při diskontním úroku 5 %, veškeré finanční hodnoty jsou v miliónech korun. Celý výpočet je proveden v tabulce 5.5.

**Tabulka 5.5 Čistá současná hodnota**

Rok	Očekávaný výnos	Diskontní faktor	Diskontované hodnoty
1	4,7	0,952380952	4,476190476
2	4,5	0,907029478	4,081632653
3	4,7	0,863837599	4,060036713
4	4,6	0,822702475	3,784431384
5	4,4	0,783526166	3,447515132
6	4,4	0,746215397	3,283347745
7	4,6	0,71068133	3,269134119
8	4,5	0,676839362	3,045777129
9	4,6	0,644608916	2,965201015
10	4,6	0,613913254	2,824000966
11	4,7	0,584679289	2,747992659
12	4,5	0,556837418	2,505768382
13	4,7	0,530321351	2,492510348
14	4,6	0,505067953	2,323312584
15	4,4	0,481017098	2,116475232
16	4,4	0,458111522	2,015690697
17	4,6	0,436296688	2,006964763
18	4,5	0,415520655	1,869842947
19	4,6	0,395733957	1,820376202
20	4,6	0,376889483	1,733691621
<b>Suma diskontované hodnoty</b>			<b>56,86989277</b>
<b>Kapitálová hodnota</b>			<b>-51,45</b>
<b>ČSH</b>			<b>5,419892767</b>

Hlavní předností ČSH je, že se při výpočtu a hodnocení berou do úvahy výsledky za celou dobu životnosti investice a respektuje se časová hodnota peněz pomocí diskontování.

#### **Vnitřní výnosové procento (VVP)**

Vnitřní výnosové procento lze definovat jako takovou úrokovou míru, při které ČSH peněžních příjmů z investice se rovná kapitálovým výdajům na investice (případně současné hodnotě kapitálových výdajů, jsou-li vynakládány po delší dobu).

$$\sum_n^N P_n \cdot \frac{1}{(1+i)^n} = k \quad (5.5)$$

kde:  $\sum_n^N P_n$  - suma peněžních příjmů v jednotlivých letech životnosti (Kč)

i- úrok (%)

n- jednotlivá léta životnosti (roky)

N- doba životnosti (roky)

k- kapitálový výdaj (Kč)

Zatímco u ČSH se vycházelo z dané úrokové míry, v případě VVP hledáme úrokovou míru vyhovující rovnosti diskontovaných peněžních příjmů a výdajů, při nichž je tedy ČSH rovno nule. Výpočet je proveden v tabulce 5.6.

**Tabulka 5.6 Vnitřní výnosové procento**

Rok	Očekávaný výnos	Diskontní faktor	Diskontované hodnoty
1	4,7	0,909090909	4,272727273
2	4,5	0,826446281	3,719008264
3	4,7	0,751314801	3,531179564
4	4,6	0,683013455	3,141861895
5	4,4	0,620921323	2,732053821
6	4,4	0,56447393	2,483685292
7	4,6	0,513158118	2,360527344
8	4,5	0,46650738	2,099283211
9	4,6	0,424097618	1,950849045
10	4,6	0,385543289	1,773499131
11	4,7	0,350493899	1,647321328
12	4,5	0,318630818	1,43383868
13	4,7	0,28966438	1,361422585
14	4,6	0,263331254	1,21132377
15	4,4	0,239392049	1,053325017
16	4,4	0,217629136	0,957568197
17	4,6	0,197844669	0,910085477
18	4,5	0,17985879	0,809364555
19	4,6	0,163507991	0,752136758
20	4,6	0,148643628	0,683760689
<b>Suma diskontované hodnoty</b>			<b>38,8848219</b>
<b>Kapitálová hodnota</b>			<b>-51,45</b>
<b>ČSH</b>			<b>-12,5651781</b>

Při 5ti % úroku je ČSH vyšší jak nula a při 10ti % úroku je záporné. Z toho vyplývá, že VVP se pohybuje mezi 5 až 10ti %. Přesně to zjistíme pomocí jednoduché lineární interpolace.

$$VVP = i_n + \frac{\check{C}SH_N}{\check{C}SH_N + \check{C}SH_v} \cdot (i_v - i_n) \quad (5.6)$$

kde:  $i_n$ - nižší úroková míra

$i_v$ - vyšší úroková míra

$\check{C}SH_N$ - ČSH při nižším úroku

$\check{C}SH_v$ - ČSH při vyšším úroku

$$VVP = 5 + \frac{5,42}{5,42 + 12,56} \cdot (10 - 5)$$

$$VVP = \underline{6,5 \%}$$

Vnitřní výnosové procento je tedy 6,5 %



## 6 Závěr

Z ekologického hlediska je využití tepelných čerpadel v dané lokalitě méně výhodné. Důvodem tohoto závěru je, že emise vzniklé při výrobě systémové elektřiny, pro pohon kompresorů tepelných čerpadel, jsou větší než emise vzniklé při spalování zemního plynu. Výroba systémové elektřiny je s největším podílem realizována v tepelných elektrárnách, a to spalováním hnědého uhlí. Dále je zde možná likvidace živočichů a rostlinstva v řece Ostravici, vypouštěním důlní vody, která obsahuje značné množství soli. Po ekonomické stránce je situace opačná. Náklady na vytápění pomocí tepelných čerpadel jsou téměř poloviční oproti nákladům za zemní plyn. I přes vysoké investiční náklady jsou kritéria hodnocení investic přijatelná.

## Literatura

### Monografie, odborné publikace, skripta a články

1. BROŽ, Karel. *Vytápění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. 205 s.
2. DVOŘÁK, Zdeněk; KLAZAR, Luděk; PETRÁK, Jiří. *Tepelná čerpadla*. Praha: SNTL, 1987. 340 s.
3. KAMINSKÝ, Jaroslav; VRTEK, Mojmír. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1998. 102 s.
4. KYSELA, Ladislav; TOMČALA, Jiří. *Ekonomika v energetice*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. 64 s.
5. PETRÁŠ, Dušan a kolektiv. *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. Bratislava : Jaga group, s.r.o., 2008. 207 s.
6. TURNER, Wiliam C. *Energy management handbook*. Lilburn: The fairmont press, 1997. 40 s.
7. podle ústního sdělení doc. Ing. Mojmíra Vrtka Ph.D.(akademický pracovník VŠB-TU, 17. listopadu 15, Ostrava-Poruba) dne 9. února 2010.

### Články, studie a firemní literatura

8. KUNC, Jan. *www.tzb-info.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-04-01]. Dostupné z URL: <<http://www.tzb-info.cz>>
9. NOVÁK, Jaroslav. *www.agrokom.cz* [on line]. 2009 [cit. 2010-05-15]. Dostupné z URL: <<http://www.agrokom.cz>>.
10. STEHLÍK, František. *www.4-construction* [online]. 2002 [cit. 2010-04-01]. Dostupné z URL: <<http://www.4-construction.cz>>.
11. STU-E a.s. *Klimatologické údaje*. Praha : [vl.n.], 2006. 262 s.
12. *www.hennlich.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-05-09]. Tepelná čerpadla G-term. Dostupné z URL: <[hennlich](http://www.hennlich.cz)>
13. *www.nukleon.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-04-01]. [www.nukleon.cz/cze/index.php?action=waste\\_heat](http://www.nukleon.cz/cze/index.php?action=waste_heat). Dostupné z URL: <<http://www.nukleon.cz>>.
14. *www.ruse-europe.org* [online]. 2006 [cit. 2010-04-01]. [www.ruse-europe.org/IMG/pdf/Decin\\_CZ.pdf](http://www.ruse-europe.org/IMG/pdf/Decin_CZ.pdf). Dostupné z URL: <<http://www.ruse-europe.org>>.

15. *www.tepelna-cerpadla-mach.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-01].  
*www.tepelna-cerpadla-mach.cz/o-spolecnosti/ke-stazeni.php*. Dostupné z URL: <<http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz>>.
16. *www.topeni-pro-haly.cz* [online]. 2002 [cit. 2010-04-01].  
*www.topeni-pro-haly.cz/prezhtplastik/index.html*. Dostupné z URL: <<http://www.topeni-pro-haly.cz>>.
17. *www.tzb-info.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-01]. *www.stavby.tzb-info.cz*.  
Dostupné z URL: <<http://www.tzb-info.cz>>.

### **Zákony, vyhlášky, dokumenty institucí státní správy a normy**

18. *Nářízení vlády 71/2003 Sb.* O stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod.
19. *Nářízení vlády č. 352/2002 Sb.*, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
20. *Vyhláška č. 425/2004 Sb.*, kterou se mění vyhláška č. 213/2001 Sb., kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu.
21. *Zákona o ovzduší 86/2002 Sb.* o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů.
22. *Vyhláška č. 152/2001 Sb.* Ministerstva průmyslu a obchodu ze dne 12. dubna 2001, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé užitkové vody, měrné ukazatele spotřeby tepla pro vytápění a pro přípravu teplé užitkové vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům.
23. Státní energetická koncepce České republiky (schválená usnesením vlády České republiky č. 211 ze dne 10. března 2004
24. ČSN 06 0210: Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním topení.
25. ČSN 12831: Tepelné soustavy v budovách- výpočet tepelného výkonu.